

Thomas Naumann

**Bemessung und Ausführung eines Fachwerkträgers
nach dem Bemessungskonzept des Eurocode 3**

Dimensioning and completion of a truss
based on the concept of Eurocode 3

eingereicht als

BACHELORPROJEKT

an der

Hochschule Mittweida (FH)
University of Applied Sciences



Maschinenbau / Feinwerktechnik

Lunzenau, 2011

Erstprüfer: Prof. Dr.- Ing. Mohsen Rahal

Zweitprüfer: Dipl. Ing. (FH) Mike Ulrich

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung:

Naumann, Thomas:

Bemessung und Ausführung eines Fachwerkträgers nach dem Bemessungskonzept des Eurocode 3. – 2011. – 167 Seiten. Mittweida, Hochschule Mittweida, Fachbereich Maschinenbau/Feinwerktechnik, Bachelorarbeit, 2011

Referat:

Ziel der Bachelorarbeit ist es, die Bemessung eines Fachwerkträgers anhand der neuen Norm DIN EN 1993-1 zu beschreiben. Dies geschieht zu einem in einem allgemeinen theoretischen Berechnungsteil und zum anderen wird dieser Teil mit detaillierten Beispielberechnungen erläutert. Die dargestellten Berechnungen und Berechnungsabläufe können als Grundlage zur Bemessung eines Fachwerkträgers dienen. Desweiteren wird in dieser Arbeit die Ausführung und Fertigung eines solchen Fachwerkträgers beschrieben.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	viii
Diagrammverzeichnis	x

1. Einleitung	1
1.1 Allgemeines zum Eurocode	1
1.2 Inhalt und Zielstellung der Arbeit	3
2. Allgemeine Angaben zum Fachwerkträger	4
2.1 Beschreibung eines Fachwerkträgers	4
2.2 Fachwerkarten	6
2.3 Profilwahl	9
2.3.1 offene Profile	9
2.3.2 Hohlprofile	10
3. Allgemeine Berechnungsgrundlagen	12
3.1 Ermittlung der Schnittgrößen	12
3.1.1 Knotengleichgewichtsverfahren	12
3.1.2 Ritterschnittverfahren	15
3.1.3 Ermittlung Biegemoment	18
3.2 Ermittlung der Querschnittsklassen	22
3.3 Beschreibung der maßgebenden Querschnittsnachweise	26
3.3.1 Allgemeines zur Querschnittsbemessung	26
3.3.2 Querschnittsnachweise	27

3.3.3	Biegeknicken	29
3.3.4	Ein- bzw. Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft ..	33
3.4	Stabkraftanschluss am offenen Profil	39
3.4.1	Allgemeines zum Anschluss mit offenen Profilen	39
3.4.2	geschraubter Stabanschluss	40
3.4.3	geschweißter Stabanschluss	45
3.4.4	Bemessung Knotenblech	49
3.4.5	Anschluss Knotenblech	52
3.5	Stabkraftanschluss am Hohlprofil	54
3.5.1	Allgemeines zum Hohlprofilanschluss	54
3.5.2	Knotentragfähigkeit bei Gurtstäben aus Kreishohlprofilen (KHP)	56
3.5.3	Knotentragfähigkeit bei Gurtstäben aus Rechteckhohlprofilen (RHP)	63
3.5.4	Knotentragfähigkeit bei Gurtstäben aus quadratischen Hohlprofilen	68
3.5.5	Knotentragfähigkeit bei Gurten aus I- oder H- Profilen	70
3.5.6	Knotentragfähigkeit bei Gurten aus U- Profilen	72
3.6	Allgemeiner Berechnungsablauf zur Bemessung von Fachwerkträgern	74
4.	Beispielrechnungen	75
4.1	Vollständige Beispielrechnung eines Fachwerkträgers	75
4.1.1	Festlegung des Fachwerksystems mit dazugehörigen Abmessungen	75
4.1.2	Freigeschnittenes Fachwerksystem mit äußerer Belastung	75
4.1.3	Profilvorwahl	75
4.1.4	Berechnung der Stabkräfte	76
4.1.5	Klassifizierung der Querschnittsklassen	81
4.1.6	Bemessung der Querschnitte	82

4.1.7	Bemessung der Anschlüsse	88
4.1.7.1	Bemessung der Knotenpunkte K1 – K12 und K15 – K26	88
4.1.7.2	Bemessung des Knotenpunktes K13	94
4.1.7.3	Bemessung des Knotenpunktes K14	106
4.2	Vergleich von geschweißten und geschraubten Anschlüssen unter Druck- und Zugbelastung	107
4.2.1	Vollständige Beispielrechnung eines geschweißten Diagonal- stabanschluss unter Zugbelastung am Knotenblech	107
4.2.2	Beispielrechnung eines geschweißten Diagonalstabanschluss unter Druckbelastung am Knotenblech	119
4.2.3	Auswertung und Vergleich der geschweißten und geschraubten Anschlüsse	123
4.3	Beispielrechnung eines Trägers unter einachsiger Biegung mit Normalkraft	124
4.4	Beispielrechnungen von verschiedenen Fachwerkknoten aus Hohlprofilquerschnitten	131
4.4.1	Beispielrechnung eines Fachwerkknotens aus Kreishohlprofilen	131
4.4.2	Beispielrechnung eines Fachwerkknotens aus Rechteckhohlprofilen	133
4.4.3	Beispielrechnung eines Fachwerkknotens aus Quadratrohrhohlprofilen mit I-Profil als Gurtstab	137
4.4.4	Auswertung und Vergleich der Beispielrechnungen aus den Kapiteln 4.4.1 bis 4.4.3	140
4.5	Beispielrechnung eines Fachwerkknotens aus Quadratrohrprofilen mit U-Profil als Gurtstab	141
4.6	Beispielrechnung eines Stirnplattenstoßes mit Zug- und Querkraftbelastung	143
4.7	Beispielrechnung eines Fachwerkknotens aus Quadratrohrprofilen mit Knotenexzentrizität	144
4.8	Vergleich der Beanspruchbarkeit eines Profils bei Druck- und Zugbelastung	146

4.9	Vergleich der Beanspruchbarkeit von verschiedenen Stahlsorten bei gleicher Druck- und Zugebelastung	147
4.10	Vergleich der Beanspruchbarkeit von verschiedenen Stahlsorten bei unterschiedlicher Druck - und Biegebelastungen	148
5.	Ausführung	149
5.1	Fertigungsorganisation und Planung	149
5.2	Montageorganisation und Planung	152
6.	Schlussbemerkung	154
	Literaturverzeichnis	155
	Selbstständigkeitserklärung	156

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Allgemeines Fachwerksystem	4
Abbildung 2.2 Übersicht über mögliche Ausfachungsarten	6
Abbildung 2.3 Übersicht über mögliche Gurtlinien	7
Abbildung 2.4 Übersicht über mögliche Tragsysteme	7
Abbildung 2.5 Übersicht über mögliche Profilwahl (offene Profile)	9
Abbildung 2.6 Übersicht über mögliche Profilwahl (Hohlprofile)	10
Abbildung 3.1 Fachwerksystem mit Abmessungen (Knotengleichgewichtsverfahren)	12
Abbildung 3.2 Freigeschnittenes Fachwerksystem mit einwirkenden Belastungen (Knotengleichgewichtsverfahren)	12
Abbildung 3.3 Knoten K1 (Knotengleichgewichtsverfahren)	13
Abbildung 3.4 Knoten K2 (Knotengleichgewichtsverfahren)	14
Abbildung 3.5 Fachwerksystem mit Abmessungen (Ritterschnittverfahren)	15
Abbildung 3.6 Freigeschnittenes Fachwerksystem mit einwirkenden Belastungen (Ritterschnittverfahren)	15
Abbildung 3.7 Schnitte durch das Fachwerksystem (Ritterschnittverfahren)	16
Abbildung 3.8 Knoten K4 (Knotengleichgewichtsverfahren)	17
Abbildung 3.9 Berechnung der wirkenden Momente (Knotenexzentrizität)	18
Abbildung 3.10 Knotenexzentrizitäten e	19
Abbildung 3.11 Berechnung der wirkenden Momente aus der Querbelastrung	20
Abbildung 3.12 Fachwerk mit zur Mitte hin fallenden Diagonalen	26
Abbildung 3.13 Strebenfachwerk	26
Abbildung 3.14 Stirnplattenstoß	41
Abbildung 3.15 Geschraubter Knotenblechanschluss	41
Abbildung 3.16 Geschweißter Knotenblechanschluss	45
Abbildung 3.17 Spannungen im wirksamen Kehlnahtquerschnitt	46

Abbildung 3.18 Blockversagen von Schraubengruppen	49
Abbildung 3.19 Knotenblechnachweis bei geschraubten Verbindungen	49
Abbildung 3.20 Knotenblechanschluss mit geschweißter Verbindung	51
Abbildung 3.21 Anschluss Knotenblech	52
Abbildung 3.22 Darstellung eines Knotens aus einem KHP	56
Abbildung 3.23 Darstellung eines Knotens aus RHP	63
 Abbildung 4.1 Festlegung des Fachwerksystems mit Abmessungen (Beispielrechnung)	 75
Abbildung 4.2 Freigeschnittenes System mit äußerer Belastung (Beispielrechnung)	75
Abbildung 4.3 Schnitte durch das Fachwerksystem (Beispielrechnung)	76
Abbildung 4.4 Überprüfung der Biegemomente (Beispielrechnung)	80
Abbildung 4.5 Knoten K2 (Beispielrechnung)	88
Abbildung 4.6 Knoten K2 mit Exzentrizität (Beispielrechnung)	89
Abbildung 4.7 Stirnplattenanschluss Knoten K13 (Vorderansicht)	94
Abbildung 4.8 Stirnplattenanschluss (Seitenansicht)	99
Abbildung 4.9 System und Ersatzsystem der Anschlusstypen 1 und 2	101
Abbildung 4.10 Stirnplattenanschluss Knoten K14 (Vorderansicht)	106
Abbildung 4.11 Knoten mit geschraubten Diagonalstabanschluss am Knotenblech	107
Abbildung 4.12 Zugstab zur Ermittlung der resultierenden $F_{R,Ed}$	113
Abbildung 4.13 Knoten mit geschweißten Diagonalstabanschluss am Knotenblech	119
Abbildung 4.14 Trägersystem mit einwirkenden Lasten	124
Abbildung 4.15 Fachwerkknoten aus Kreishohlprofilen (Beispielrechnung)	131
Abbildung 4.16 Fachwerkknoten aus Rechteckhohlprofilen (Beispielrechnung)	133
Abbildung 4.17 Fachwerkknoten mit Exzentrizität aus RHP (Beispielrechnung) ...	134

Abbildung 4.18 Fachwerkknoten aus QHP mit I-Profil als Gurtstab (Beispielrechnung)	137
Abbildung 4.19 Fachwerkknoten aus QHP mit U-Profil als Gurtstab (Beispielrechnung)	141
Abbildung 4.20 Stirnplattenstoß (Beispielrechnung)	143
Abbildung 4.21 Fachwerkknoten mit Knotenexzentrizität (Beispielrechnung)	144
Abbildung 5.1 Montagehilfe	153

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1 Vergleich der Ausfachungsarten Strebenfachwerk und Ständerfachwerk	8
Tabelle 2.2 Anwendungsbereich der Querschnitte	10
Tabelle 3.1 Berücksichtigung von Biegemomenten	21
Tabelle 3.2 Maximales c/t- Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile (Steg)	23
Tabelle 3.3 Maximales c/t- Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile (Flansch)	24
Tabelle 3.4 Maximales c/t- Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile (Winkel / Hohlprofile)	25
Tabelle 3.5 Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien	30
Tabelle 3.6 Auswahl der Knicklinie eines Querschnittes	30
Tabelle 3.7 Empfohlene Imperfektionswerte der Knicklinien für Biegedrillknicken	34
Tabelle 3.8 Empfohlene Knicklinien für das Biegedrillknicken	34
Tabelle 3.9 Ermittlung Momentenbeiwert ζ	35
Tabelle 3.10 Empfohlene Korrekturbeiwerte k_c	36
Tabelle 3.11 Werte für N_{Rk} , $M_{i,Rk}$	36

Tabelle 3.12 Interaktionsbeiwerte k_{ij} für verdrehsteife Bauteile (Tabelle B.1)	37
Tabelle 3.13 Interaktionsbeiwerte k_{ij} für verdrehweiche Bauteile	38
Tabelle 3.14 Äquivalente Momentenbeiwerte C_m	38
Tabelle 3.15 Kategorien von Schraubenverbindungen	40
Tabelle 3.16 Nennwerte der Streckgrenze f_{yb} und der Zugfestigkeit f_{ub} von Schrauben	41
Tabelle 3.17 Grenzwerte für Rand- und Lochabstände	42
Tabelle 3.18 Regelabstände für Rand- und Lochabstände	43
Tabelle 3.19 Korrelationsbeiwert β_w für Kehlnähte	47
Tabelle 3.20 Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- Streben an KHP- Gurtstreben	56
Tabelle 3.21 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von KHP-Streben an KHP-Gurtstäbe	57
Tabelle 3.22 Biegetragfähigkeiten von geschweißten Anschlüssen von KHP-Streben an KHP-Gurtstäbe	59
Tabelle 3.23 Bemessungskriterien für speziell geschweißten Anschlüsse von KHP-Streben an KHP- Gurtstäbe	61
Tabelle 3.24 Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP- Streben an RHP- Gurtstäbe	63
Tabelle 3.25 Tragfähigkeit von geschweißten T-, X- und Y- Anschlüssen von RHP- oder KHP- Streben an RHP- Gurtstäbe	64
Tabelle 3.26 Tragfähigkeit von geschweißten K- und N- Anschlüssen von RHP- oder KHP- Streben an RHP- Gurtstäbe	65
Tabelle 3.27 Biegetragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP- Streben an RHP- Gurtstäbe	66
Tabelle 3.28 Bemessungskriterien für spezielle geschweißte Anschlüsse von RHP- Streben an RHP- Gurtstäben	67
Tabelle 3.29 Zusätzliche Bedingungen für die Verwendung von Tabelle 3.30	68
Tabelle 3.30 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen mit quadratischen Hohlprofilen- oder KHP- Streben an quadratische Hohlprofile	68
Tabelle 3.31 Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP- Streben an I- oder H- Profil Gurtstäbe	70

Tabelle 3.32 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP- oder KHP- Streben an I- oder H- Profilen	70
Tabelle 3.33 Biegetragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP- Streben an I- oder H- Profil Gurtstäbe	71
Tabelle 3.34 Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP- Streben an U- Profil Gurtstäbe	72
Tabelle 3.35 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP- oder KHP- Streben an U-Profil Gurtstäbe	73
Tabelle 4.1 Tragfähigkeit von geschweißten verstärkten K- und N- Anschlüssen von RHP- oder KHP- Streben an RHP- Gurtstäbe	91
Tabelle 4.2 Einflüsse auf die Anforderung Z_{Ed}	105
Tabelle 4.3 Stahlgütewahl nach DIN 10164	106
Tabelle 4.4 Abminderungsbeiwerte β_2 und β_3 (Zwischenwerte werden linear interpoliert)	108
Tabelle 5.1 Grenzabmaß für Längenmaße	150
Tabelle 5.2 Grenzabmaß für Winkelmaße	150
Tabelle 5.3 Geradheits-, Ebenheits- und Parallelitätstoleranzen	150

Diagrammverzeichnis

Diagramm 3.1 Knicklinien	32
Diagramm 4.1 Vergleich von geschweißten und geschraubten Anschlüssen unter Druck- und Zugbelastung	123
Diagramm 4.2 Vergleich der verschiedenen Fachwerkknotenanschlussmöglichkeiten	140
Diagramm 4.3 Vergleich von Druck- und Zugbelastungen	146
Diagramm 4.4 Vergleich verschiedener Stahlsorten bei gleichbleibender Zug- und Druckbelastung	147
Diagramm 4.5 Vergleich verschiedener Stahlsorten bei unterschiedlicher Druck- und Biegebelastung	148

1. Einleitung

1.1 Allgemeine Angaben zum Eurocode

Auf Grund der Globalisierung und der damit verbundenen Zusammenarbeit verschiedener Länder ist die Einführung einer einheitlichen technischen Norm notwendig gewesen. Das Ziel des Eurocode- Programmes ist die Harmonisierung der technischen Normen um eine effektive Zusammenarbeit der Länder zu ermöglichen. Der Eurocode wurde deshalb in folgenden Ländern eingeführt:

Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Diesem Vorhaben widmete sich seit 1975 die Kommission der Europäischen Gemeinschaft, was dazu führte, dass in den 80-er Jahren ein erster Eurocode entstand. 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der EU und der EFTA, die Weiterentwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes an das europäische Komitee für Normung (CEN) zu übergeben. Dies war notwendig damit die Eurocodes den Status von Europäischen Normen erhalten können und somit in den genannten Ländern Gültigkeit erhalten. Der Eurocode ist seit April 2010 gültig. Das Eurocode-Programm umfasst 10 Normen:

DIN EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung;

DIN EN 1991, Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke;

DIN EN 1992, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbetonbauten;

DIN EN 1993, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten;

DIN EN 1994, Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Stahl-Beton-Verbundbauten;

DIN EN 1995, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten;

DIN EN 1996, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten;

DIN EN 1997, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik;

DIN EN 1998, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben;

DIN EN 1999, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumkonstruktionen.

In den Eurocodes werden, die für die Berechnung und Bemessung von kompletten Tragwerken und Baukomponenten notwendigen Regularien dargestellt.

Für die vorliegende Bachelorarbeit dient die Norm, DIN EN 1993, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten als Grundlage. Dieser Teil des Eurocode-Programmes besteht aus 6 Teilen, bei denen der Erste Teil wiederum 12 untergeordnete Teile beinhaltet. Diese 12 Teile sind:

Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau;

Teil 1-2: Baulicher Brandschutz;

Teil 1-3: Kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche;

Teil 1-4: Nichtrostender Stahl;

Teil 1-5: Bauteile aus ebenen Blechen mit Beanspruchungen in der Blechebene;

Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalentragerwerke;

Teil 1-7 Ergänzende Regeln zu ebenen Blechfeldern mit Querbelaugung;

Teil 1-8: Bemessung und Konstruktion von Anschlüssen und Verbindungen;

Teil 1-9: Ermüdung;

Teil 1-10: Auswahl der Stahlsorten im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung;

Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit stählernen Zugelementen;

Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlgüten bis S700.

Die Berechnung und Bemessung des Themas dieser Bachelorarbeit erfolgt auf Grundlage der Norm DIN EN 1993-1 Teil 1-1, 1-8 und 1-10.

1.2 Inhalt und Zielstellung der Arbeit

In dieser Bachelorarbeit wird die Bemessung nach DIN EN 1993-1 und die Ausführung eines Fachwerkträgers dargestellt. Dazu werden anfangs die verschiedenen Fachwerkarten und deren Ausführungsmöglichkeiten vorgestellt und beschrieben. Im Anschluss daran werden die theoretischen Berechnungsgrundlagen erläutert. Dazu gehören die Ermittlung der Schnittkräfte, die Klassifizierung der Querschnitte, die Bemessung der Profile und die Berechnung der verschiedenen Knotenanschlussmöglichkeiten. Dabei werden die Schnittkräfte nach dem Ritterschnitt- und nach dem Knotengleichgewichtsverfahren bestimmt. Die Bemessung der Querschnitte erfolgt zu einem über die Querschnittsnachweise und zum anderen über die Stabilitätsnachweise, wie Biegeknicken und Ein- bzw. Zweiachsige Biegung mit und ohne Normalkraft. Es wird einerseits die Berechnung der geschweißten und geschraubten Anschlüsse bei offenen Profilen erläutert. Andererseits werden die Verbindungsmöglichkeiten mit Hohlprofilen beschrieben. Nachdem die theoretischen Bemessungen abgehandelt worden, folgen verschiedene Beispielberechnungen um den allgemeinen Teil zu verdeutlichen. Dazu werden ein komplettes Fachwerk und detaillierte Beispiele gerechnet.

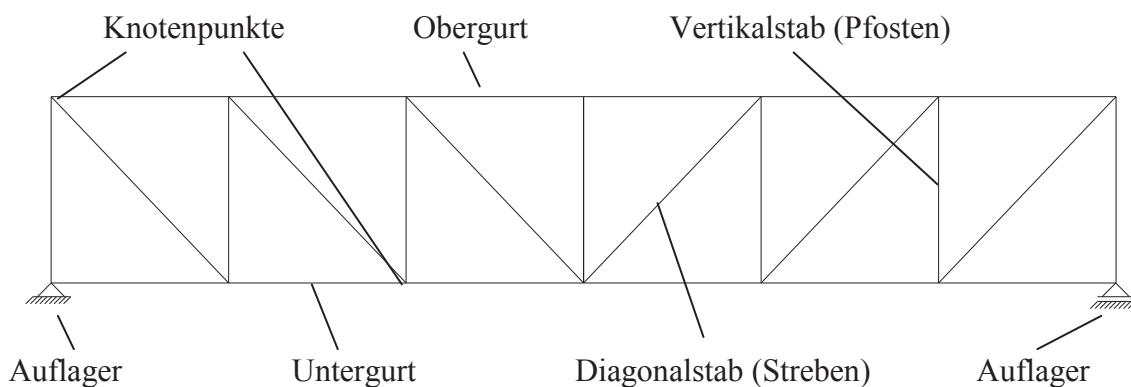
Im Zweiten Teil der Arbeit wird die Ausführung eines Fachwerkträgers beschrieben. Es wird dabei erläutert, wie man die Maßhaltigkeit bei der Fertigung und bei der Montage gewährleistet. Desweiteren wird erklärt, wie eventuell vorhandene Fehler, beispielsweise Maßungenauigkeiten, korrigiert bzw. behoben werden können. Weiterhin wird die Montageorganisation beschrieben.

2. Allgemeine Angaben zum Fachwerkträger

2.1 Beschreibung eines Fachwerkträgers

Fachwerkträger bestehen aus einem oberen und unteren Begrenzungsstab, dem Obergurt und Untergurt, und aus Vertikal- und Diagonalstäben (Streben), den Füllstäben. Diese Träger und Streben dienen zur Kraftverteilung und Aufnahme der örtlichen Lastenleitung.

Abbildung 2.1 Allgemeines Fachwerksystem



Die Begrenzungsstäbe werden über das komplette Fachwerk in einer Profilgröße geführt. Dabei ist der Profilquerschnitt maßgebend, der aus den größten Beanspruchungen resultiert. Querschnittverstärkungen sind zu vermeiden oder auf kurze Strecken zu begrenzen.

Füllstäbe werden jeder für sich für die jeweilige Belastung nachgewiesen. Um diese Stäbe bei Transport und Montage gegen Beschädigung zu schützen, erhalten Zug- und Druckstäbe die gleiche steife Querschnittform. Diese Profilform ist so zu wählen, dass möglichst einfache Knotenpunkte ausgebildet werden können. Desweiteren ist zu beachten, dass die Neigung der Füllstäbe gegen die Horizontale etwa 45° bis 60° beträgt.

Es ist erstrebenswert Fachwerke so zu konstruieren, dass nur Zug- und Druckkräfte in den Stäben wirken. Dies ist zu einem umsetzbar, indem man die wirkenden Belastungen als Einzelkräfte in die Knotenpunkte führt und zum anderen sollten die Schwerelinien der Stäbe mit den Systemlinien des Systems übereinstimmen. Falls dies nicht beachtet wird, entstehen unnötige Momente, die die Bemessung erschweren und möglicherweise größere Profilquerschnitte notwendig werden.

Fachwerkträger werden eingesetzt um große Stützweiten ab 30m frei zu überspannen, örtlich hohe Einzellasten abzuleiten und gewichtssparend zu konstruieren. Es können auch Fachwerkträger mit kleineren Spannweiten eingesetzt werden. Dies geschieht dann allerdings aus architektonischen Gründen.

Bei der Wahl, Vollwandträger oder Fachwerkträger muss zwischen wirtschaftlichen, ästhetischen und baulichen Aspekten entschieden werden. Die Vorteile von Fachwerkträgern gegenüber Vollwandkonstruktionen liegen darin, dass sie einen geringeren Baustoffbedarf aufweisen, lichtdurchlässiger sind und eine höhere Biegesteifigkeit bei der Montage besitzen. Es ist außerdem darauf zu achten, dass die Materialeinsparung mit zunehmender Spannweite wächst. Desweiteren ist es Vorteilhaft einen Fachwerkträger zu verwenden, wenn man zum Beispiel Rohrleitungen durch das Fachwerk führen möchte. Es ist jedoch zu beachten, dass bei der Fertigung solcher Fachwerksysteme ein höherer Aufwand betrieben werden muss und damit die Kosten steigen. Auf Grund der vergrößerten Oberfläche sinkt die Beständigkeit gegenüber Feuer. Außerdem ist bei der Entscheidung der Konstruktionswahl zu beachten, dass Vollwandträger durch ihre großen Flächen ruhiger wirken. Dafür erscheinen Fachwerkträger auf Grund des Filigranen leichter.

2.2 Fachwerkarten

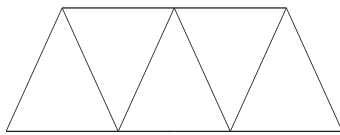
Fachwerkträger werden nach der Struktur des Stabgitters (Ausfachung), nach der äußeren Form und nach der Art des Tragwerksystems eingeteilt.

Einteilung nach:

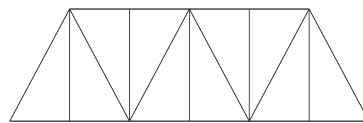
- Struktur des Stabgitters (Ausfachung):

Abbildung 2.2 Übersicht über mögliche Ausfachungsarten [11]

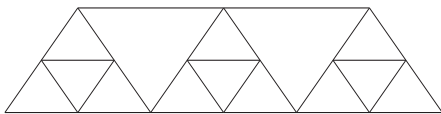
Streben - Fachwerk



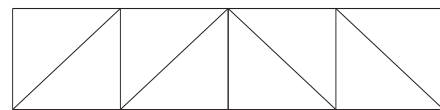
Streben – Fachwerk mit Hilfspfosten



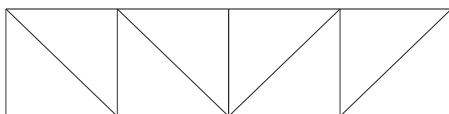
Streben mit Sekundärfachwerken



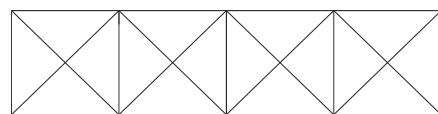
Ständer – Fachwerk mit zur Mitte hin steigenden Diagonalen



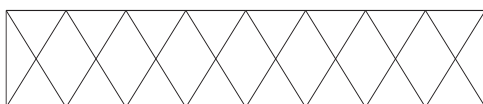
Ständer – Fachwerk mit zur Mitte hin fallenden Diagonalen



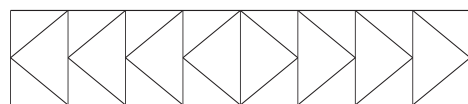
Pfosten – Fachwerk mit gekreuzten Diagonalen



Rauten - Fachwerk



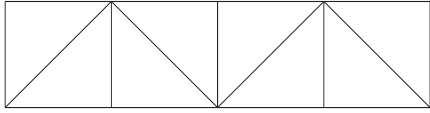
K - Fachwerk



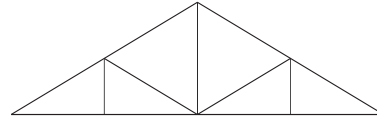
-Nach Form der Gurtlinie:

Abbildung 2.3 Übersicht über mögliche Gurtlinien [11]

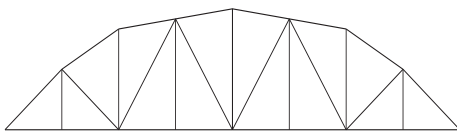
Parallelgurtfachwerk



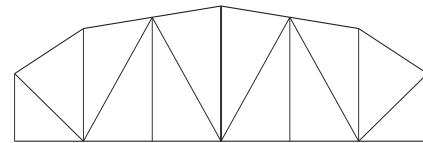
Dreiecksfachwerk



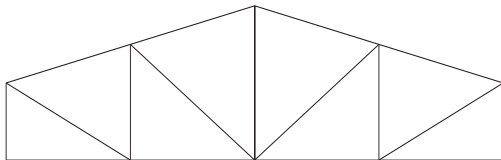
Parabelfachwerk



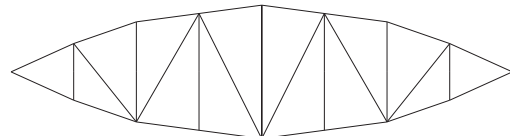
Halbparabelfachwerk



Trapezfachwerk



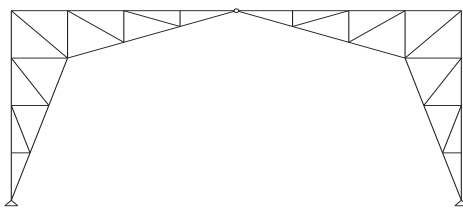
Fischbauchfachwerk



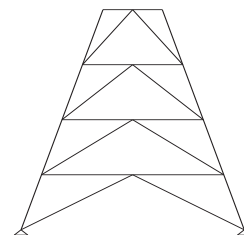
-Nach dem Tragsystem:

Abbildung 2.4 Übersicht über mögliche Tragsysteme [11]

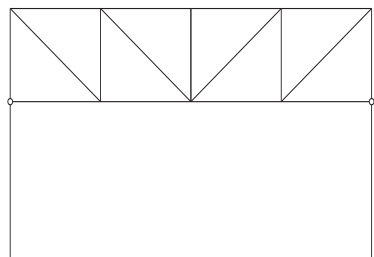
Fachwerkrahmen



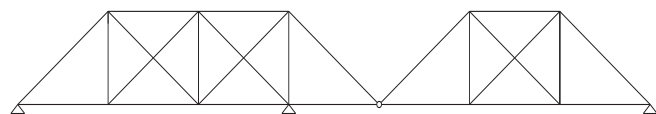
Fachwerkmast



Fachwerkbinder



Fachwerkbrückenträger



Im folgendem werden zwei Ausfachungsarten, reines Strebenfachwerk und Ständerfachwerk mit zur Mitte hin fallenden Diagonalen genauer beleuchtet.

Tabelle 2.1 Vergleich der Ausfachungsarten Strebenfachwerk und Ständerfachwerk [2]

Ausfachungsart	Auswahlkriterium	Vorteile	Nachteile
reines Strebenfachwerk	-Einsatzlänge: 36 bis 45 m	-keine Vertikalstäbe (einfache Knotenpunkte) -spart jeden zweiten Gurtknoten ⇒ wirtschaftlicher und einfachere Fertigung	-jede zweite Diagonale gedrückt ⇒ Kräftige Bemessung -geringe Aussteifung der Gurte ⇒ größere Knicklängen der Obergurtstäbe -weniger Knoten zur Krafteinleitung
Ständerfachwerk mit zur Mitte hin fallenden Streben	-Einsatzlänge: bis 36 m	-lange Diagonalen (Zugkräfte) -kurze Vertikalen (Druckkräfte)	-mehr Füllstäbe -mehr Knotenpunkte ⇒ Aufwendigere Fertigung

Im allgemeinen wird beim Entwurf eines Fachwerkträgers so vorgegangen, dass als erstes die Bauteilhöhe, die Struktur des Stabgitters (Ausfachung) und die Unter- und Obergurtneigung festgelegt werden. Dabei wird die Bauteilhöhe über die Gleichung $h = 1/15$ der Systemlänge ermittelt. Die Ausfachung kann nach Tabelle 2.1 festgelegt werden, sollte aber so gewählt werden, dass eine gleichbleibende Füllstablänge und -neigung vorhanden ist, die eine gleiche Knotenausbildung im Fachwerk ermöglichen. Die Unter- und Obergurtneigung wird durch die geforderte Dachneigung festgelegt.

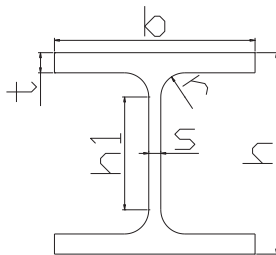
2.3. Profilwahl

2.3.1 offene Profile

Abbildung 2.5 Übersicht über mögliche Profilwahl (offene Profile)

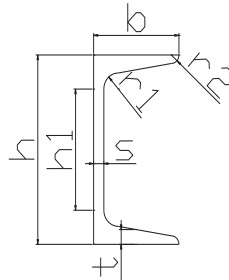
Doppel T-Träger

z.B.: HEB100



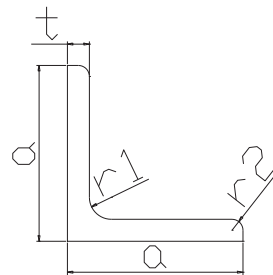
U-Stahl

z.B.: U 100



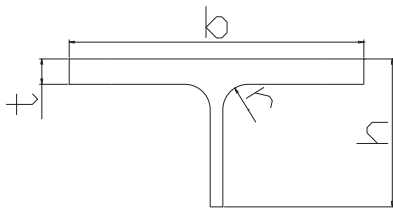
Gleichschenkliger Winkelstahl

z.B.: 80x10



Halbierte HE-Profile

z.B.: ½ HEB140



Die Profilwahl erfolgt bei offenen und bei Hohlprofilen hauptsächlich nach zwei Gesichtspunkten. Zu einem werden die Querschnitte anhand der ermittelten Stabkräfte festgelegt und zum anderen sollten die Profile so gewählt werden, dass möglichst einfach zu fertigende Knotenpunkte entstehen. Grundsätzlich ist es anzustreben, die Profile so zu wählen das sie nahezu vollständig ausgelastet sind um Material zu sparen.

Bei offenen Profilen muss man unterscheiden ob große oder geringe Stabkräfte wirken. Bei geringen Stabkräften kann der Gurtstab aus halbierten HE- Profilen, die Pfosten aus Doppelwinkeln und die Diagonalen aus einfachen Winkelprofilen ausgebildet werden. Die Stege der halbierten Gurtprofile können somit gleich als Knotenblech genutzt werden, um Material zu sparen. Diese Knotenausbildung vereinfacht die Fertigung des Anschlusses, da die Winkel wechselseitig gleich an die Stege angeschlossen werden. Desweiteren kann man eventuell entstandene Toleranzen aus der Fertigung ausgleichen.

Falls in einem Fachwerk sehr große Stabkräfte wirken, sollten die Gurtstäbe und Pfosten aus HE- Profilen und die Diagonalen ebenfalls aus HE- Profilen oder aus U- Profil gefertigt werden. Dabei sollte man beachten, dass bei der Ausbildung mit Diagonalen aus HE- Profilen, zwei Knotenbleche benötigt werden. Diese werden an die Außenseiten des Gurtstabes angeschlossen und die Diagonalen zwischen die Bleche eingeschoben. Da dies eine sehr aufwendige und zugleich kostenintensive Anschlussmöglichkeit ist, sollte sie nur angewendet werden, wenn keine andere Möglichkeit besteht, den Knotenpunkt auszubilden. Die Fertigung mit einem U- Profil als Diagonalstab erfolgt hingegen mit einem Knotenblech, welches mittig an den Gurtstab angeschlossen wird. Dies ist einfacher und günstiger.

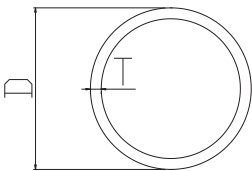
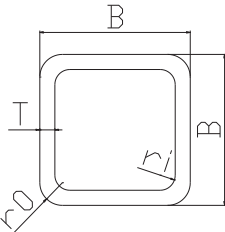
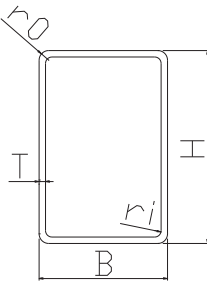
Um einen Überblick über den Anwendungsbereich der Querschnitte zu geben, wird im folgendem eine Tabelle in Abhängigkeit der Stabkraft dargestellt.

Tabelle 2.2 Anwendungsbereich der Querschnitte

Stabkraft	Gurtstäbe	Pfosten	Diagonalen
große Kraft	Doppel T- Profil	Doppel T- Profil	Doppel T- Profil bzw. U- Profil
Normale Kraft	Doppel T- Profil bzw. U- Profil	Doppel T- Profil bzw. U- Profil	Doppelwinkel
Geringe Kraft	½ HE- Profil	Doppelwinkel	Einfache Winkelprofile

2.3.2 Hohlprofile

Abbildung 2.6 Übersicht über mögliche Profilwahl (Hohlprofile)

Hohlprofil mit Kreisförmigen Querschnitt (KHP) z.B.: 88,9x6	Hohlprofil mit quadratischen Querschnitt (QHP) z.B.: 100x10	Hohlprofil mit rechteckigem Querschnitt (RHP) z.B.: 120x80x4
		

Hohlprofilquerschnitte werden im Allgemeinen verwendet, da sie gut gegen Biegeknicken in und außerhalb der Fachwerkebene standhalten, einen guten Korrosionsschutz ermöglichen und das komplette Erscheinungsbild ansprechend wirken lassen. Der Korrosionsschutz ist gut umsetzbar, da die Hohlprofile eine geringere Oberfläche als offene Profile aufweisen und auf Grund der runden Kanten einen besseren Kantenschutz ermöglichen. Desweiteren ist zu beachten, dass der Anschluss im Knotenpunkt meist ohne zusätzliches Material erfolgen kann und man somit Kosten spart. Außerdem ist die Fertigung solcher Anschlussknoten nicht so aufwendig, da die Profile direkt miteinander verbunden werden können. Es muss bei der Entscheidung ob Hohlprofil oder offenes Profil allerdings beachtet werden, dass Hohlprofilquerschnitte teurer sind als offene Profile.

Im Allgemeinen finden Quadratrohrhohlprofile (QHP) am meisten Anwendung. Dies ist darin zu begründen, dass sie neben den Rechteckrohrprofilen (RHP) die höchste Tragfähigkeit der drei genannten Profile aufweisen. Außerdem sind ihre Knotenanschlüsse relativ einfach zu fertigen. Ihr Vorteil gegenüber RHP liegt darin, dass sie auf Grund ihrer quadratischen Abmessungen ein gleichmäßigeres Erscheinungsbild ergeben. Daher werden RHP weniger eingesetzt. Sie finden allerdings Anwendung, um die Ober- bzw. Untergurte in Hallenlängsrichtung zu stabilisieren. Kreisrohrhohlprofile (KHP) werden sehr selten verwendet, da die Fertigung ihrer Anschlüsse sehr umständlich ist und oftmals nicht passgenau erfolgen kann. Außerdem können KHP im Knotenanschluss am wenigsten Lasten aufnehmen, siehe Kapitel 4.4.4. Sie werden daher nur eingesetzt, wenn es beispielsweise aus architektonischen Gründen gefordert ist.

3. Allgemeine Berechnungsgrundlagen

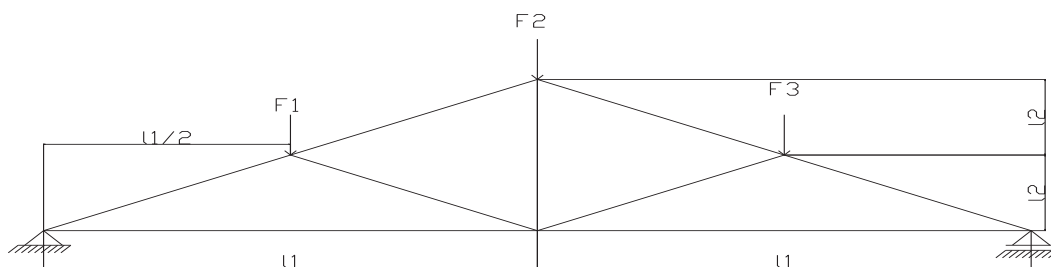
3.1 Ermittlung der Schnittkräfte

3.1.1 Knotengleichgewichtsverfahren

Bei der Ermittlung der Schnittkräfte im Fachwerk werden alle Knotenpunkte als reibungsfreie Gelenke (ideales Fachwerk) betrachtet. Die Stabkräfte werden nach der jeweiligen Fachwerktheorie rechnerisch oder graphisch ermittelt. Im folgendem werden die Berechnungsmethoden nachdem Knotengleichgewichts- bzw. Ritterschnittverfahren erläutert.

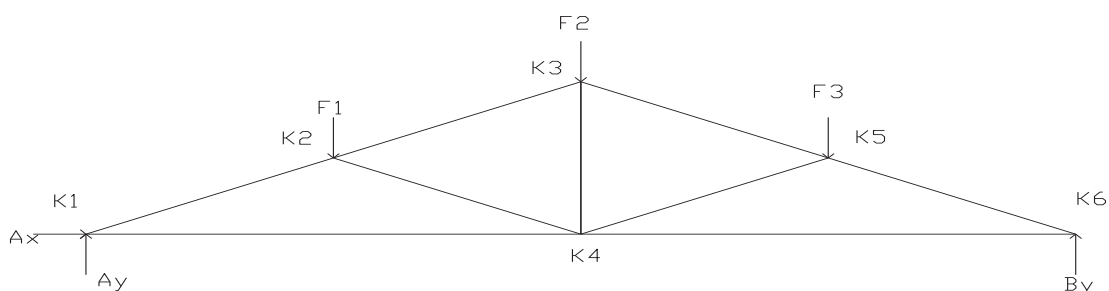
Bei der Anwendung des Knotengleichgewichtsverfahrens muss zuerst das System freigeschnitten werden. Anschließend werden die resultierenden Auflagerreaktionen ermittelt. Danach sind die Stabkräfte von Knoten zu Knoten fortschreitend über $\Sigma H = 0$ und $\Sigma V = 0$ zu berechnen. Es ist dabei zu beachten, dass jeweils immer nur zwei Stabkräfte an einem neuen Knoten unbekannt sind.

Abbildung 3.1 Fachwerkssystem mit Abmessungen (Knotengleichgewichtsverfahren)



⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.1 Seite 75

Abbildung 3.2 Freigeschnittenes Fachwerkssystem mit einwirkenden Belastungen (Knotengleichgewichtsverfahren)



⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.2 Seite 75

Ermittlung der Auflagerreaktion:

Aufstellen der Gleichgewichtsbedingungen:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -F_1 - F_2 - F_3 + B_y + A_y = 0 \quad (I)$$

$$\rightarrow \Sigma H = 0; \quad \underline{A_x = 0} \quad (II)$$

$$\Sigma M_A = 0; \quad F_1 * l_1 / 2 + F_2 * l_1 + F_3 * 1,5 l_1 - B_y * 2 l_1 = 0$$

$$B_y = (F_1 * l_1 / 2 + F_2 * l_1 + F_3 * 1,5 l_1) / 2 l_1$$

$$\underline{B_y = 1/4 * (F_1 + 2 * F_2 + 3 * F_3)} \quad (III)$$

Gleichung (III) in Gleichung (I) einsetzen:

$$-F_1 - F_2 - F_3 + 1/4 * (F_1 + 2 * F_2 + 3 * F_3) + A_y = 0$$

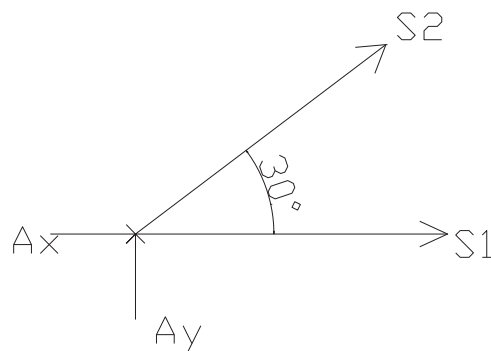
$$A_y = 3/4 * F_1 + 1/2 * F_2 + 1/4 * F_3$$

$$\underline{A_y = 1/4 * (3 F_1 + 2 * F_2 + F_3)} \quad (IV)$$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.4 Seite 76

Ermittlung der Stabkräfte:

Abbildung 3.3 Knoten K1 (Knotengleichgewichtsverfahren)



$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad A_y + \sin \alpha * S_2 = 0$$

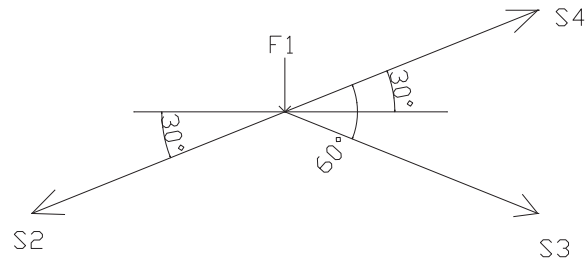
$$\underline{S_2 = -A_y / \sin \alpha}$$

$$\rightarrow \Sigma H = 0; \quad A_x + S_1 + \cos \alpha * S_2 = 0$$

$$S_1 + \cos \alpha * S_2 = 0$$

$$\underline{S_1 = -\cos 30 * S_2}$$

Abbildung 3.4 Knoten K2 (Knotengleichgewichtsverfahren)



$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -F_1 - S_2 \cdot \sin 30 + S_4 \cdot \sin 30 - S_3 \cdot \sin 30 = 0 \quad (\text{I})$$

$$\rightarrow \Sigma H = 0; \quad S_4 \cdot \cos 30 + S_3 \cdot \cos 30 - S_2 \cdot \cos 30 = 0 \quad (\text{II})$$

Gleichung (II) nach S_4 umstellen:

$$S_4 = (-S_3 \cdot \cos 30 + S_2 \cdot \cos 30) / \cos 30$$

$$S_4 = S_2 - S_3 \quad (\text{III})$$

Gleichung (III) in Gleichung (I) einsetzen:

$$-F_1 - S_2 \cdot \sin 30 + (S_2 - S_3) \cdot \sin 30 - S_3 \cdot \sin 30 = 0 \quad (\text{IV})$$

Gleichung (IV) nach S_3 umstellen:

$$-F_1 - S_2 \cdot \sin 30 - S_3 \cdot \sin 30 + S_2 \cdot \sin 30 - S_3 \cdot \sin 30 = 0$$

$$-F_1 = 2 \cdot S_3 \cdot \sin 30$$

$$S_3 = (-F_1 / 2 \cdot \sin 30)$$

$$\underline{S_3 = -F_1} \quad (\text{V})$$

Gleichung (V) in Gleichung (III) einsetzen:

$$\underline{S_4 = S_2 + F_1}$$

Die weiteren Stabkräfte werden wie in den Knotenpunkten K1 und K2 gezeigt, berechnet.

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.4 Seite 77 - 79

3.1.2 Ritterschnittverfahren

Beim Ritterschnittverfahren wird wie beim Knotengleichgewichtsverfahren zuerst das System freigeschnitten und danach die Auflagerreaktion ermittelt. Anschließend wird ein Schnitt durch das System gelegt, sodass maximal drei Stäbe geteilt sind. Von diesen drei Stäben müssen sich zwei in einem Punkt schneiden. Danach können die Stabkräfte über die Gleichgewichtsbedingungen $\Sigma V = 0$, $\Sigma H = 0$ und $\Sigma M = 0$ berechnet werden. Im folgendem wird dieses Verfahren an einem allgemeinen Beispiel erläutert.

Abbildung 3.5 Fachwerksystem mit Abmessungen (Ritterschnittverfahren)

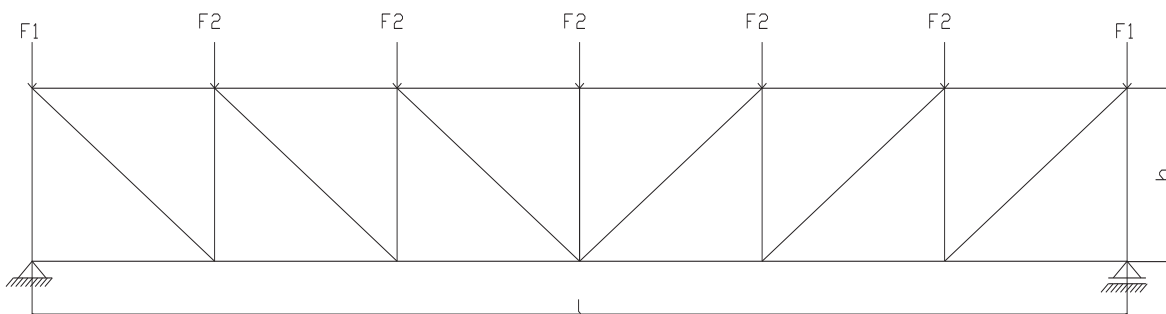
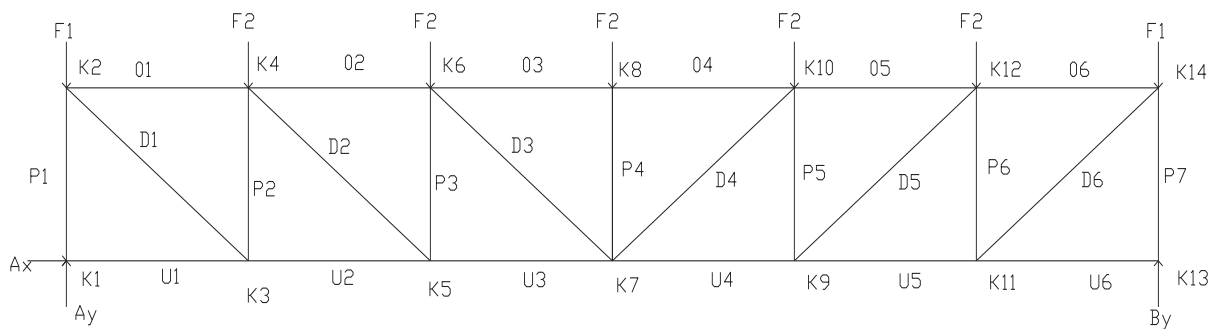


Abbildung 3.6 Freigeschnittenes Fachwerksystem mit einwirkenden Belastungen (Ritterschnittverfahren)



Ermittlung der Auflagerreaktion:

Aufstellen der Gleichgewichtsbedingungen:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -2 \cdot F_1 - 5 \cdot F_2 + B_y + A_y = 0$$

$$A_y = B_y = (2 \cdot F_1 + 5 \cdot F_2) / 2$$

$$\underline{A_y = B_y = F_1 + 2,5 \cdot F_2}$$

$$\rightarrow \Sigma H = 0; \quad \underline{A_x = 0}$$

$$\text{Mit S5: } \Sigma M_{K7} = 0; \quad A_y \cdot l/2 - F_1 \cdot l/2 - F_2 \cdot l/3 - F_2 \cdot l/6 - O_3 \cdot h = 0$$

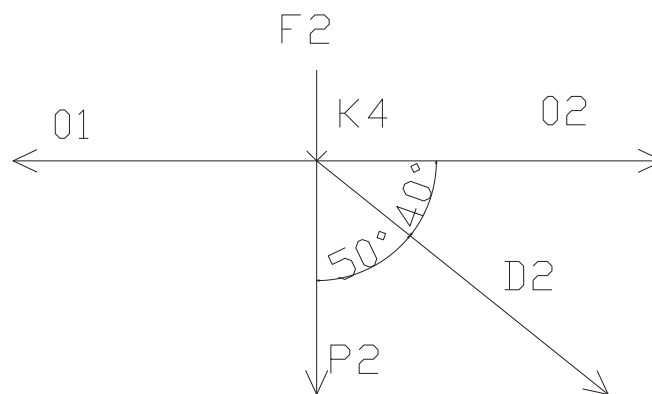
$$O_3 = (A_y \cdot l/2 - F_1 \cdot l/2 - F_2 \cdot l/6 - F_2 \cdot l/3) / h$$

$$O_3 = \frac{l \cdot (A_y - F_1 - F_2)}{2 \cdot h}$$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.4 Seite 76, 77

Die Pfosten- und Diagonalstabkräfte werden wie in 3.1.1 erläutert nach dem Knotengleichgewichtsverfahren berechnet. Dies wird im folgendem am Knoten K4 gezeigt.

Abbildung 3.8 Knoten K4 (Knotengleichgewichtsverfahren)



$$\rightarrow \Sigma H = 0; \quad -O_1 + O_2 + D_2 \cdot \cos 40 = 0$$

$$\underline{D_2 = (O_2 - O_1) / \cos 40}$$

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -F_2 - P_2 - D_2 \cdot \sin 40 = 0$$

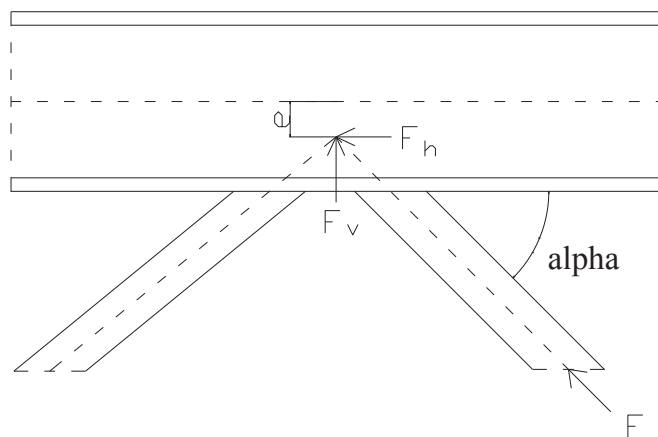
$$\underline{P_2 = -F_2 - D_2 \cdot \sin 40}$$

3.1.3 Biegemomente

Im folgendem wird erläutert welche Momente zu beachten sind. Dazu werden drei Möglichkeiten der Momententstehung betrachtet. Dies sind resultierende Momente aus der Knotenexzentrizität, die Sekundären Momente aus den Anschlüssen und Momente infolge der Querbelastung.

1. Momente aus der Knotenexzentrizität:

Abbildung 3.9 Berechnung der wirkenden Momente (Knotenexzentrizität)



$$F_h = \cos \alpha * F$$

$$\underline{M = F_h * e}$$

Dabei ist:

- F die wirkende Kraft aus dem Stab
- F_h die horizontale Komponente der Kraft F
- F_v die vertikale Komponente der Kraft F
- e die Knotenexzentrizität

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.7.1 Seite 89

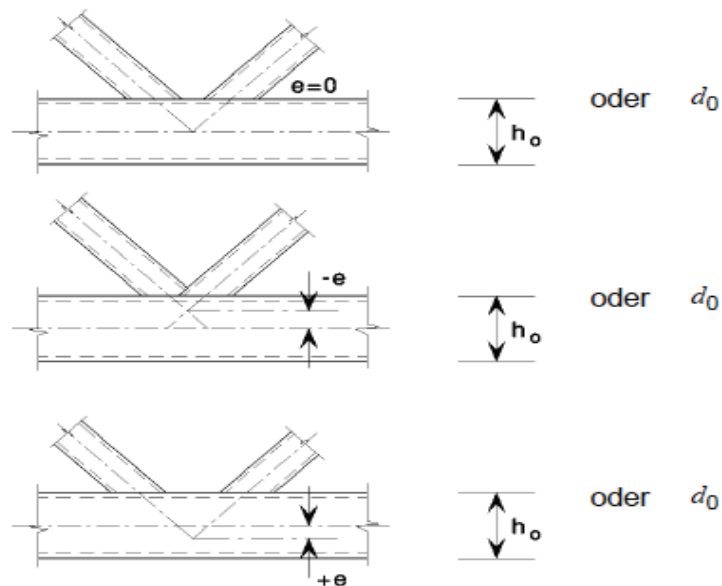
Bei der Bemessung von zugbeanspruchten Gurtstäben und Streben dürfen die Momente aus der Knotenexzentrizität vernachlässigt werden. Desweiteren können bei der Berechnung der Anschlüsse diese Momente entfallen, wenn die Knotenaußermittigkeiten innerhalb der folgenden Grenzen liegen:

$$-0,55 d_0 \leq e \leq 0,25 d_0$$

$$-0,55 h_0 \leq e \leq 0,25 h_0$$

Dabei ist: $-d_0$ Durchmesser des Gurtstabes
 $-h_0$ Höhe des Gurtstabes in der Fachwerkebene

Abbildung 3.10 Knotenexzentrizitäten e



⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.7.1 Seite 89

Wenn die Knotenexzentrizitäten außerhalb dieser Grenzen liegen müssen sie bei der Bemessung der Anschlüsse beachtet werden. Dazu verteilt man die resultierenden Momente auf alle am Knoten ankommenden Bauteile. Dies geschieht nach ihrer relativen Steifigkeit I/L , dabei ist L die Systemlänge zwischen den Knotenpunkten.

Bei der Bemessung von druckbeanspruchten Gurtstäben sind die Momente die aus den Knotenexzentrizitäten resultieren zu berücksichtigen. In diesem Fall sind die wirkenden Momente auf die beiden angeschlossenen druckbeanspruchten Gurtstäbe nach ihrer relativen Steifigkeiten I/L zu verteilen.

2. Sekundäre Momente aus den Anschlüssen:

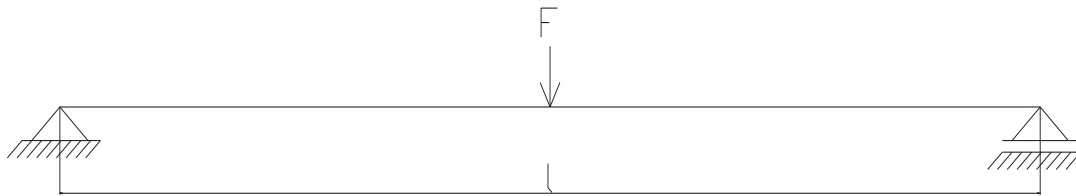
Sekundäre Momente können durch die tatsächlichen Steifigkeiten in den Anschlüssen entstehen. Diese dürfen jedoch vernachlässigt werden, wenn man folgende Bedingungen einhält:

1. Die geometrischen Abmessungen der Anschlüsse liegen innerhalb der Gültigkeitsgrenzen. Diese Bereiche werden im Kapitel 3.5 dargestellt.
2. Das Verhältnis zwischen Systemlänge und Bauteilhöhe in der Fachwerkebene einen bestimmten Grenzwert nicht unterschreitet. Bei Hochbauten ist dieser Grenzwert 6. Andere Grenzwerte sind den jeweiligen Teilen der DIN EN 1993 zu entnehmen.

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.4 Seite 80

3. Momente infolge der Querbelastrung:

Abbildung 3.11 Berechnung der wirkenden Momente aus der Querbelastrung



$$M = (F \cdot l) / 4$$

Die Momente die infolge von Querbelastrungen zwischen den Knotenpunkten entstehen, werden bei der Bemessung der querbelastreten Bauteile berücksichtigt. Wenn die Bedingungen aus „Sekundäre Momente aus den Anschlüssen“ eingehalten werden, darf davon ausgegangen werden, dass:

1. die Streben gelenkig an den Gurtstab angeschlossen sind und somit keine Übertragung der Momente von den Gurtstäben auf die Streben bzw. umgekehrt stattfindet.
2. die Gurtstäbe als Durchlaufträger mit gelenkigen Auflagern an den Knotenpunkten wirken und dadurch keine Momente übertragen werden.

Tabelle 3.1 Berücksichtigung von Biegemomenten

Komponente	Biegemomente hervorgerufen durch		
	Sekundäreinflüsse	Querbelastung	Knotenexzentrizitäten
Druckbeanspruchter Gurt	Nein , sofern die erwähnten Bedingungen aus den Sekundäreinflüssen erfüllt sind.	Ja	Ja
Zugbeanspruchter Gurt			Nein
Strebe			Nein
Anschluss			Nein , sofern die erwähnten Bedingungen aus den Knotenexzentrizitäten erfüllt sind.

3.2 Klassifizierung der Querschnittsklassen

Nach dem Eurocode 3 werden die Querschnitte in vier verschiedene Klassen unterteilt. Die Querschnittsklassen begrenzen die Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität hinsichtlich lokalen Beulens. Um die Einteilung in die verschiedenen Querschnittsklassen vorzunehmen wird das c/t Verhältnis der druckbeanspruchten Bereiche untersucht. Dabei werden die verschiedenen Bereiche, wie Steg oder Flansch getrennt voneinander untersucht und können daher auch unterschiedlichen Klassen zugewiesen werden. Dazu ist zu beachten, dass in der Regel der Bereich mit der höheren Querschnittsklasse für den kompletten Querschnitt maßgebend ist.

Klassifizierung der Querschnittsklassen [6]:

Querschnitte der Klasse 1 können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationskapazitäten für die plastische Berechnung ausbilden;

Querschnitte der Klasse 2 können die plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber aufgrund örtlichen Beulens nur eine begrenzte Rotationskapazität;

Querschnitte der Klasse 3 erreichen für eine elastische Spannungsverteilung die Streckgrenze in der ungünstigsten Querschnittsfaser, können aber wegen örtlichen Beulens die plastische Momententragfähigkeit nicht entwickeln;

Querschnitte der Klasse 4 sind solche, bei denen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze in einem oder mehreren Teilen des Querschnitts auftritt.

Tabelle 3.2 Maximales c/t - Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile (Steg)

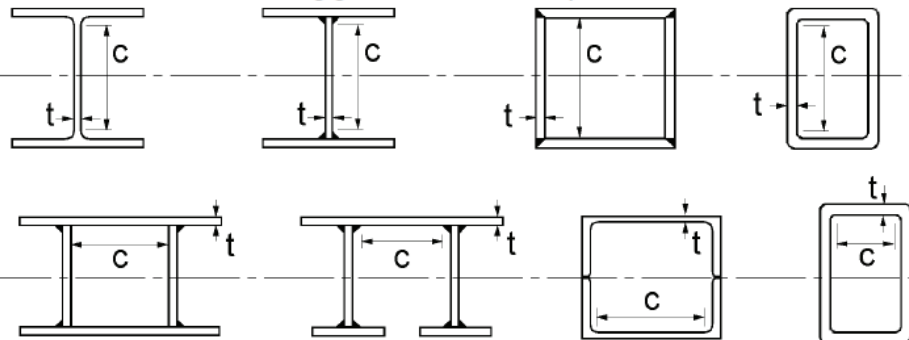
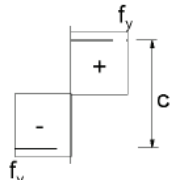
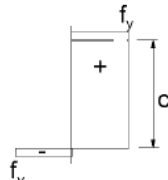
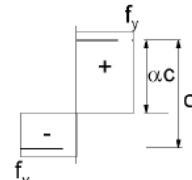
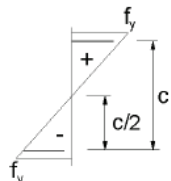
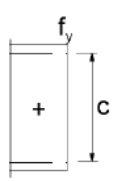
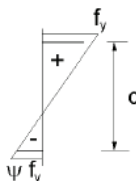
Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile						
				Biegeachse		
Klasse	auf Biegung beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile			
1						
	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	für $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	für $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
3						
	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	für $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ für $\psi \leq -1^a$: $c/t \leq 62\varepsilon (1 - \psi) \sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
^a Es gilt $\psi \leq -1$ falls entweder die Druckspannungen $\sigma \leq f_y$ oder die Dehnungen infolge Zug $\varepsilon_y > \frac{f_y}{E}$ sind.						

Tabelle 3.3 Maximales c/t - Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile (Flansch)

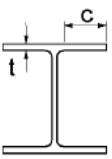
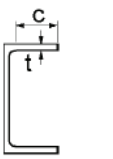
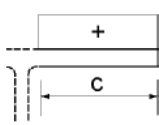
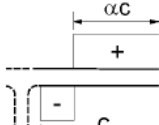
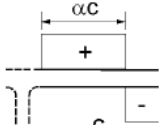
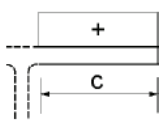
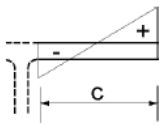
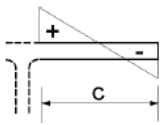
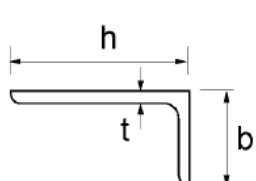
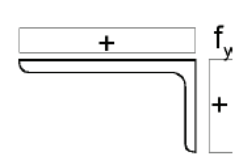
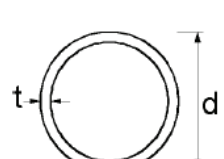
Einseitig gestützte Flansche						
						
Gewalzte Querschnitte			Geschweißte Querschnitte			
Klasse	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile				
		freier Rand im Druckbereich		freier Rand im Zugbereich		
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)						
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$				
		Für k_σ siehe EN 1993-1-5				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$		f_y	235	275	355	420
		ε	1,00	0,92	0,81	0,75
						460
						0,71

Tabelle 3.4 Maximales c/t - Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile (Winkel / Hohlprofile)

<div><div><div>Winkel</div><div></div></div><div>Siehe auch „einseitig gestützte Flansche“ in Tabelle 5.2, oben</div><div>gilt nicht für Winkel mit durchgehender Verbindung zu anderen Bauteilen</div></div>						
Klasse	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile					
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)	<div></div>					
3	$h/t \leq 15\varepsilon$ AC und AC $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$					
<div><div><div>Runde Hohlquerschnitte</div><div></div></div></div>						
Klasse	auf Biegung und/oder Druck beanspruchte Querschnittsteile					
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$					
ANMERKUNG Für $d/t > 90\varepsilon^2$ siehe EN 1993-1-6.						
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.5 Seite 81, Kapitel 4.2.1 Seite 107, Kapitel 4.2.2 Seite 119 bzw. Kapitel 4.3 Seite 125

3.3 Beschreibung der maßgebenden Querschnittsnachweise

3.3.1 Allgemeines zur Querschnittsbemessung

Bei der Bemessung von Fachwerkträgern unterscheidet man nach Druck- und Zugbeanspruchten Stäben. Demnach ist zu prüfen ob ein Querschnitts- oder ein Stabilitätsnachweis geführt wird. Bei den Stäben, die ausschließlich auf Zug- bzw. Druck beansprucht werden, sind Querschnittsnachweise zu führen. Querschnitte die auf Druck und Biegung beansprucht sind, prüft man auf Stabilität. Dabei ist zu klären, ob ein Biegeknicknachweis oder ein Nachweis auf Ein- bzw. Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft vorzunehmen ist. Die Unterscheidungskriterien werden in den Kapiteln 3.3.2 – 3.3.4 erläutert.

Im folgendem wird gezeigt bei welchem Fachwerktyp, welche Stabbeanspruchung bei einer Druckeinwirkung vorliegt.

Abbildung 3.12 Fachwerk mit zur Mitte hin fallenden Diagonalen

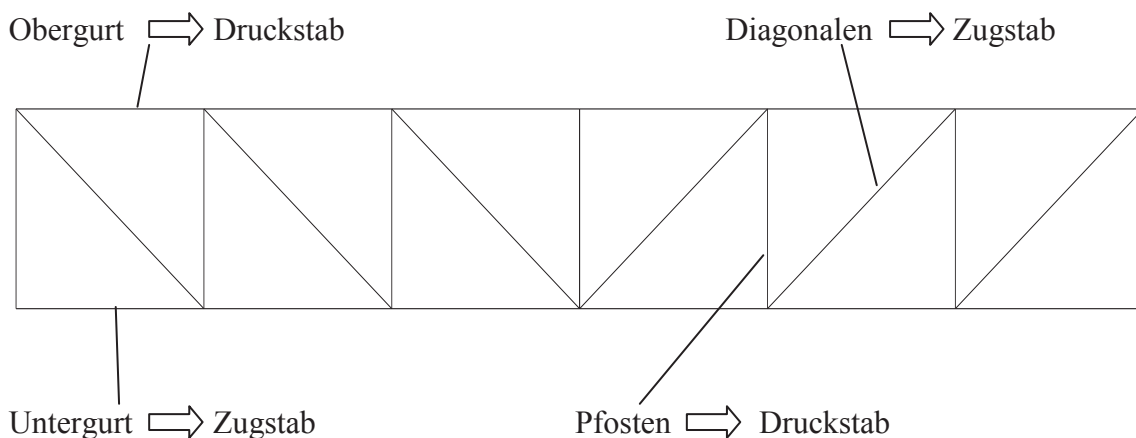
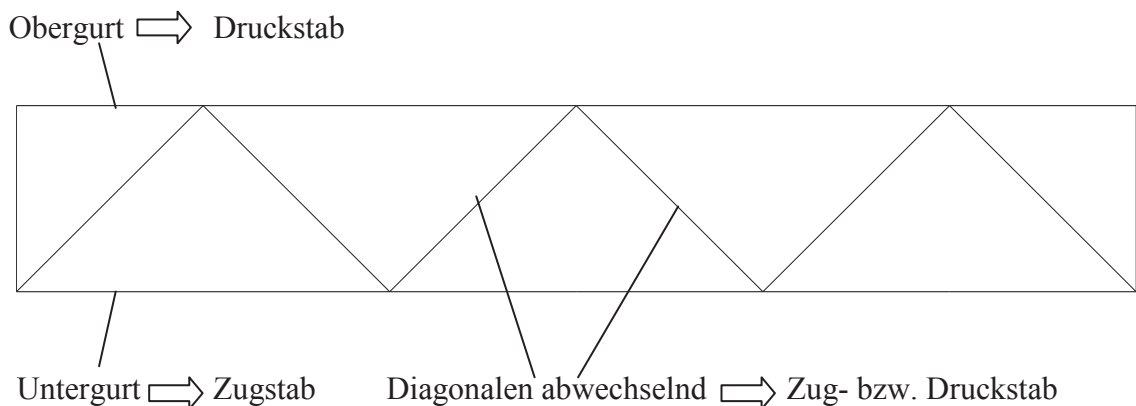


Abbildung 3.13 Strebenfachwerk



3.3.2 Querschnittsnachweis

Zugbeanspruchung [6]:

Der Zugkraftnachweis wird geführt wenn nur Zugkräfte angreifen.

Bei der wirkenden Zugkraft in einem Stab ist in der Regel folgender Nachweis an jedem Querschnitt zu erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Als Bemessungswert der Zugbeanspruchung $N_{t,Rd}$ ist in der Regel der kleinere der folgenden Werte einzusetzen:

- mit plastischer Beanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

- mit dem Bemessungswert der Zugbeanspruchung des Nettoquerschnitt längs der kritischen Risslinie durch die Löcher:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Dabei sind:

N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft
A	Querschnittsfläche des Zugstabes
A_{net}	Nettoquerschnittsfläche des Zugstabes
f_y	Nennwert der Streckgrenze
f_u	Nennwert der Zugfestigkeit
γ_{M0}	1,00; Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten (bei Anwendung von Querschnittsnachweisen)
γ_{M2}	1,25; Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.6 Seite 82 bzw. Kapitel 4.2.1 Seite 108

Druckbeanspruchung [6]:

Der Druckkraftnachweis wird geführt wenn nur Druckkräfte angreifen.

Bei der wirkenden Druckkraft in einem Stab ist in der Regel folgender Nachweis an jedem Querschnitt zu erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Als Bemessungswert der Druckbeanspruchung $N_{c,Rd}$ ist in der Regel einzusetzen:

$$N_{c,Rd} = \frac{A^* f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für die Querschnittsklassen 1, 2 oder 3;}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff}^* f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für die Querschnittsklasse 4;}$$

➔ Einteilung der Querschnittsklassen siehe Kapitel 3.2

Dabei ist: A_{eff} wirksame Querschnittfläche des Druckstabes

⇨ Beispiel siehe Kapitel 4.1.6 Seite 83 bzw. 4.2.1 Seite 109

3.3.3 Biegeknicken

Bei planmäßig zentrisch belasteten Druckstäben ist im Normalfall folgender Nachweis gegen Biegeknicken zu führen [6]:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

Dabei ist:

$N_{b,Rd}$ Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit von druckbeanspruchten Bauteilen

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{für die Querschnittsklassen 1, 2 und 3;}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A_{eff} * f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{für die Querschnittsklasse 4;}$$

mit:

γ_{M1} 1,00; Teilsicherheitswert für die Beanspruchung von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen)

χ Abminderungsbeiwert (χ_y, χ_z)

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

mit:

ϕ Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwert χ

$$\phi = 0,5 * \left[1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

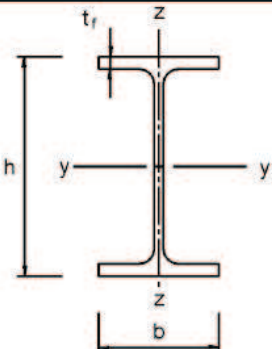
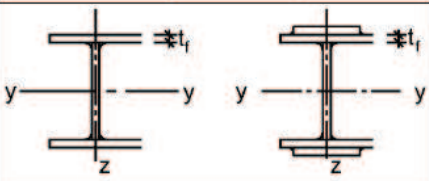

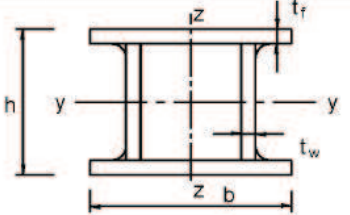
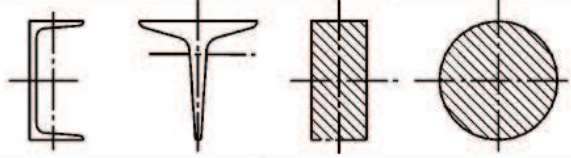

mit:

α Imperfektionsbeiwert (α_y, α_z) nach der Knicklinie

Tabelle 3.5 Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien

Knicklinie	a_0	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabelle 3.6 Auswahl der Knicklinie eines Querschnittes

Querschnitt	Begrenzungen	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knicklinie	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
gewalzte I-Querschnitte 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	a b	a_0 a_0
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	b c	a a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	d d	c c
Geschweißte I-Querschnitte 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d
Hohlquerschnitte 	warmgefertigte	jede	a	a_0
	kaltgefertigte	jede	c	c
Geschweißte Kastenquerschnitte 	allgemein (außer den Fällen der nächsten Zeile)	jede	b	b
	dicke Schweißnähte: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	jede	c	c
U-, T- und Vollquerschnitte 		jede	c	c
L-Querschnitte 		jede	b	b

$\bar{\lambda}$ Schlankheitsgrad ($\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$) für Biegeknicken

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{l_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{für die Querschnittsklassen 1, 2 und 3;}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{l_{cr}}{i} \cdot \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} \quad \text{für die Querschnittsklasse 4;}$$

mit: l_{cr} Knicklänge

$$l_{cr} = \beta \cdot l$$

β Knicklängenbeiwert

$\beta = 0,9$ für I, oder H- Profile in Fachwerkebene

$\beta = 1,0$ für I, oder H- Profile rechtwinklig zur Fachwerkebene

l Stablänge

i Trägheitsradius aus den Abmessungen des Bruttoquerschnittes

λ_1 Schlankheit zur Bestimmung des Schlankheitsgrades

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon$$

mit: $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

E Elastizitätsmodul

N_{cr} ideale Verzweigungslast ($N_{cr,y}, N_{cr,z}$) für den maßgebenden Knickfall bezogen auf den Bruttoquerschnitt

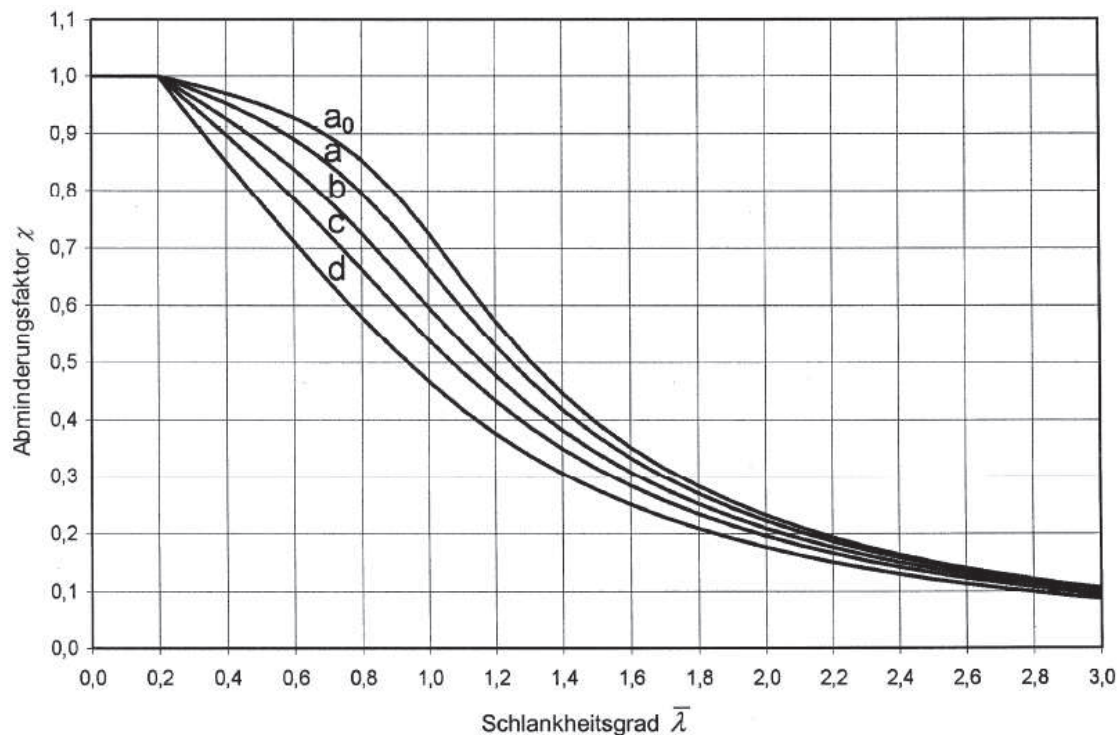
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{cr}^2}$$

mit: I Flächenträgheitsmoment (I_y, I_z)
des Gesamtquerschnitts

Bei einem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda} \leq 0,2$ oder $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$ muss der Biegeknicknachweis nicht geführt werden. Es sind jedoch die Querschnittsnachweise zu führen (siehe Kapitel 3.3.2).

Der Abminderungsbeiwert χ kann aber auch mit dem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ und der Knicklinie nach diesem Diagramm bestimmt werden:

Diagramm 3.1 Knicklinien



Biegeknicken bei Hohlprofilen

Beim Biegeknicken von Hohlprofilen ist die Nachweisführung identisch mit der von offenen Profilen. Es ist lediglich zu beachten, dass die anzusetzenden Knicklängen verändert werden. Dabei wird die Knicklänge der Gurtstäbe mit $l_{cr} = 0,9 \cdot l$ und die Knicklänge der Füllstäbe mit $l_{cr} = 0,75 \cdot l$ ermittelt. Die Knicklänge bei Füllstäben kann allerdings nur angesetzt werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- die Gurtstäbe parallel verlaufen und
- $\frac{b_i}{b_o} \leq 0,6$ ist.

Ansonsten ist diese Knicklänge ebenfalls mit $l_{cr} = 0,9 \cdot l$ zu bestimmen.

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.6 Seite 84 und 86, Kapitel 4.2.1 Seite 110 - 112 bzw. Kapitel 4.2.2 Seite 120

3.3.4 Ein- bzw. Zweiachsigie Biegung mit oder ohne Normalkraft

Der Nachweis für Ein- bzw. Zweiachsigie Biegung mit oder ohne Normalkraft wird in der Regel geführt, wenn Querkkräfte auf den zubemessenden Querschnitt angreifen und dadurch Momente entstehen. Es ist außerdem zu beachten ob Normalkräfte wirken. Diese müssen ebenfalls bei der Nachweisführung mit betrachtet werden.

Der Nachweis ist wie folgt zu führen [6]:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.3 Seiten 126 - 130

Dabei sind:

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$	die Bemessungswerte der wirkenden Druckkräfte und der maximalen Momente
$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$	die Momente die durch die Verschiebung der Querschnittsachsen bei Querschnitten der Klasse 4 entstehen
	$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_N$
χ_y und χ_z	Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken nach Kapitel 3.3.3
$\chi_{LT,mod}$	modifizierter Abminderungsbeiwert

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{\eta} \begin{cases} \leq 1,0 \\ \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} \end{cases}$$

Dabei ist:

χ_{LT} Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2 * \beta}} \begin{cases} \leq 1,0 \\ \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

mit:

ϕ_{LT} Funktion zur Bestimmung des Abminderungsfaktors χ_{LT}

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

mit:

β 0,75; Korrekturfaktor der Biegedrillknicklinie für gewalzte und gleichartig geschweißte Querschnitte

$\bar{\lambda}_{LT,0}$ 0,4; Plateaulänge der Biegedrillknicklinie für gewalzte und gleichartig geschweißte Querschnitte

α_{LT} Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Biegedrillknicklinie

Tabelle 3.7 Empfohlene Imperfektionswerte der Knicklinien für Biegedrillknicken

Knicklinie	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabelle 3.8 Empfohlene Knicklinien für das Biegedrillknicken

Querschnitt	Grenzen	Biegedrillknicklinien
gewalztes I-Profil	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

$\bar{\lambda}_{LT}$ Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken




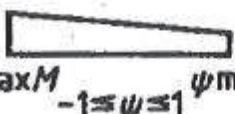
$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}}$$

mit: $W_{pl,y}$ plastische Widerstandsmoment des Querschnitts
 M_{cr} ideales Verzweigungsmoment beim Biegedrillknicken

$$M_{cr} = \zeta * N_{cr,z} * \left(\sqrt{c^2 + 0,25 * z_p^2} + 0,5 * z_p \right)$$

mit: ζ Momentenbeiwert

Tabelle 3.9 Ermittlung Momentenbeiwert ζ

Zelle	Momentenverlauf	ζ
1		1,00
2		1,12
3		1,35
4		$1,77 - 0,77 \psi$

$N_{cr,z}$ Ideale Verzweigungslast nach Kapitel 3.3.3

z_p Abstand des Angriffspunktes der Querbelastung zum Querschnittsschwerpunkt; bei Kraft von oben ist z_p negativ und umgekehrt

c^2 Drehradius des Querschnittes

$$c^2 = \frac{I_{\omega} + 0,039 * l^2 * I_T}{I_z}$$

mit: I_{ω} Wölbfächenmoment 2. Grades

I_T Torsionsflächenmoment 2. Grades

l Abstand der Lager










I_z Flächenträgheitsmoment

f Modifikationsfaktor für χ_{LT}

$$f = 1 - 0,5 * (1 - k_c) * [1 - 2,0 * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] \leq 1,0$$

k_c Korrekturbeiwert zur Berücksichtigung der Momentenverteilung

Tabelle 3.10 Empfohlene Korrekturbeiwerte k_c

Momentenverteilung	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
   	0,94 0,90 0,91
  	0,86 0,77 0,82

N_{Rk} charakteristischer Wert der Normaltragfähigkeit

$$N_{Rk} = f_y * A_i$$

$M_{y,Rk}$ und $M_{z,Rk}$ charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit

$$M_{i,Rk} = f_y * W_i$$

Tabelle 3.11 Werte für N_{Rk} , $M_{i,Rk}$

Klasse	1	2	3	4
A_i	A	A	A	A_{eff}
W_y	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
W_z	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y, Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z, Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} Interaktionsbeiwerte

Bei der Bestimmung der Interaktionsbeiwerte kann zwischen 2 Alternativverfahren unterschieden werden. Im folgendem wird auf das zweite Verfahren eingegangen. Dabei ist zu unterscheiden ob ein verdrehsteifes oder ein verdrehweiches Bauteil vorliegt.

Verdrehsteife Bauteile sind zum Beispiel Hohlquerschnitte oder gegen Verdrehung ausgesteifte Profile. Verdrehweiche Bauteile sind offene Querschnitte, die nicht ausgesteift sind. Zur Bemessung dienen die Tabellen 3.12 und 3.13.


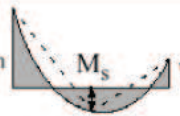

Tabelle 3.12 Interaktionsbeiwerte k_{ij} für verdrehsteife Bauteile (Tabelle B.1)

Bemessungsannahmen			
Interaktionsbeiwerte	Art des Querschnitts	elastische Querschnittswerte der Klasse 3, Klasse 4	plastische Querschnittswerte der Klasse 1, Klasse 2
k_{yy}	I-Querschnitte rechteckige Hohlquerschnitte	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	I-Querschnitte rechteckige Hohlquerschnitte	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	I-Querschnitte rechteckige Hohlquerschnitte	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	I-Querschnitte	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	rechteckige Hohlquerschnitte		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
Für I- und H-Querschnitte und rechteckige Hohlquerschnitte, die auf Druck und einachsige Biegung $M_{y,Ed}$ belastet sind, darf der Beiwert $k_{zy} = 0$ angenommen werden.			

Tabelle 3.13 Interaktionsbeiwerte k_{ij} für verdrehweiche Bauteile

Bemessungsannahmen		
Interaktionsbeiwerte	elastische Querschnittswerte der Klasse 3, Klasse 4	Plastische Querschnittswerte der Klasse 1, Klasse 2
k_{yy}	k_{yy} aus Tabelle B.1	k_{yy} aus Tabelle B.1
k_{yz}	k_{yz} aus Tabelle B.1	k_{yz} aus Tabelle B.1
k_{zy}	$\left[1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ <p>für $\bar{\lambda}_z < 0,4$:</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
k_{zz}	k_{zz} aus Tabelle B.1	k_{zz} aus Tabelle B.1

Tabelle 3.14 Äquivalente Momentenbeiwerte C_m

Momentenverlauf	Bereich		C_{my} und C_{mz} und C_{mLT}	
			Gleichlast	Einzellast
 M ψM	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4 \psi \geq 0,4$	
 M_h M_s ψM_h $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$-0,8 \alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
 M_h M_s ψM_h $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \alpha_h$	$0,90 + 0,10 \alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \alpha_h$	$0,90 + 0,10 \alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05 \alpha_h(1 + 2 \psi)$	$\boxed{AC} 0,90 + 0,10 \alpha_h(1 + 2 \psi) \boxed{AC}$
Für Bauteile mit Knicken in Form seitlichen Ausweichens sollte der äquivalente Momentenbeiwert als $C_{my} = 0,9$ bzw. $C_{mz} = 0,9$ angenommen werden.				
C_{my} , C_{mz} und C_{mLT} sind in der Regel unter Berücksichtigung der Momentenverteilung zwischen den maßgebenden seitlich gehaltenen Punkten wie folgt zu ermitteln:				
Momentenbeiwert	Biegeachse	In der Ebene gehalten		
C_{my}	y-y	z-z		
C_{mz}	z-z	y-y		
C_{mLT}	y-y	y-y		

3.4 Stabkraftanschluss am offenen Profil

3.4.1 Allgemeines zum Anschluss mit offenen Profilen

Fachwerkkonstruktionen werden entweder mit geschraubten oder geschweißten Anschlüssen hergestellt. Heutzutage werden die Stabanschlüsse hauptsächlich in der Werkstatt geschweißt und lediglich die Montagestöße auf der Baustelle geschraubt. Das liegt daran, dass die Schweißverbindungen einfacher und schneller ausführbar und somit auch wirtschaftlicher sind. Geschweißte Verbindungen haben außerdem eine hohe Qualität.

Desweiteren ist zu unterscheiden, ob die Fachwerke mit oder ohne Knotenbleche gefertigt werden. Im Hochbau ist es üblich die Füllstäbe von Fachwerkbindern mit Knotenblechen anzuschließen. Dies ist vorteilhaft, da bei dieser Variante mögliche Toleranzen aus der Herstellung ausgeglichen werden können. Bei der konstruktiven Ausbildung von Knotenblechen ist zu beachten, dass:

- sie möglichst kompakt und einfach gestaltet sind
- sie gegen seitliches Ausweichen bzw. Beulen gehalten sind
- die Vertikalkomponenten aus den Diagonalen und Pfosten im Knotenblech bleiben und nicht in den Gurtstab laufen
- möglichst wenig unterschiedliche Knotenbleche in einer Fachwerkkonstruktion zu verwenden sind

Außerdem gibt es auch die Möglichkeit Fachwerkknoten mit zwei Knotenblechen zu fertigen. Dies kann bei sehr großen Stützenweiten oder auch im Brückenbau notwendig sein. Dabei ist zu beachten, dass die Gurtstäbe aus geschweißten Kastenquerschnitten oder Doppel T- Trägern bestehen.

Fachwerke ohne Knotenbleche werden verwendet, wenn man die Füllstäbe direkt mit den Gurten verschweißt. Dies ist sinnvoll wenn die Gurtstäbe aus T- Profilen bestehen und der Steg wie ein Knotenblech als Anschluss genutzt wird. Eine andere Möglichkeit dieser Anschlussvariante ist das Drehen der Gurtstäbe. Dabei werden die Flansche des Gurtes mit den Füllstäben verschweißt. Desweiteren kann auf das Knotenblech verzichtet werden, wenn die Gurt- und Füllstäbe aus Doppel T- Profilen bestehen. Das ist allerdings nur sinnvoll, wenn große Beanspruchungen auf die Konstruktion wirken.

Grundsätzlich ist bei der Bemessung eines Anschlusses so vorzugehen, dass zuerst die Einleitung der Kräfte aus den Pfosten und Diagonalen in die Knotenbleche zu untersuchen ist und anschließend der Anschluss Knotenblech an Gurte nachgewiesen wird.

3.4.2 Geschraubter Stabanschluss

Nach Eurocode 3 müssen alle Muttern, Schrauben und Unterlegscheiben den Anforderungen nach der Bezugsnormengruppe 4 Abschnitt 1.2.4 des EN 1993-1-8:2005 entsprechen. Die Schraubenverbindungen werden im EC3 in Kategorien A bis E eingeteilt.

Tabelle 3.15 Kategorien von Schraubenverbindungen [7]

Kategorie	Nachweiskriterium	Anmerkungen
Scherverbindungen		
A Scher-/Lochleibungsverbindung	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9 dürfen verwendet werden.
B Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. Gleitwiderstand für Gebrauchstauglichkeit siehe 3.9.
C Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. Gleitwiderstand für Tragfähigkeit siehe 3.9. $N_{net,Rd}$ siehe 3.4.1(1)c).
Zugverbindungen		
D Nicht vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9 dürfen verwendet werden. $B_{p,Rd}$ siehe Tabelle 3.4.
E Vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. $B_{p,Rd}$ siehe Tabelle 3.4.
Der Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft $F_{t,Ed}$ sollte Beiträge aus Abstützkräften berücksichtigen, siehe 3.11. Schrauben unter Scher- und Zugbeanspruchung gelten in der Regel die Kriterien, die in Tabelle 3.4 angegeben sind.		

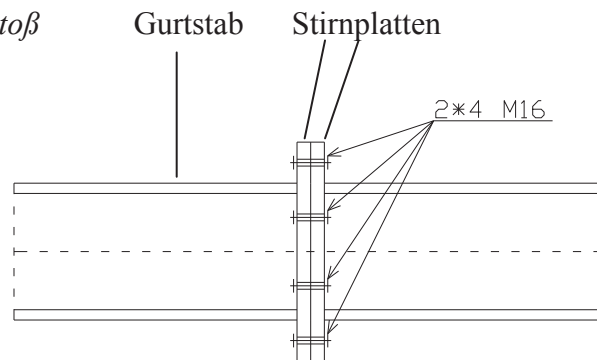
Desweiteren werden die Schrauben in verschiedene Festigkeitsklassen eingeteilt:

Tabelle 3.16 Nennwerte der Streckgrenze f_{yb} und der Zugfestigkeit f_{ub} von Schrauben

Schraubenfestigkeitsklasse	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

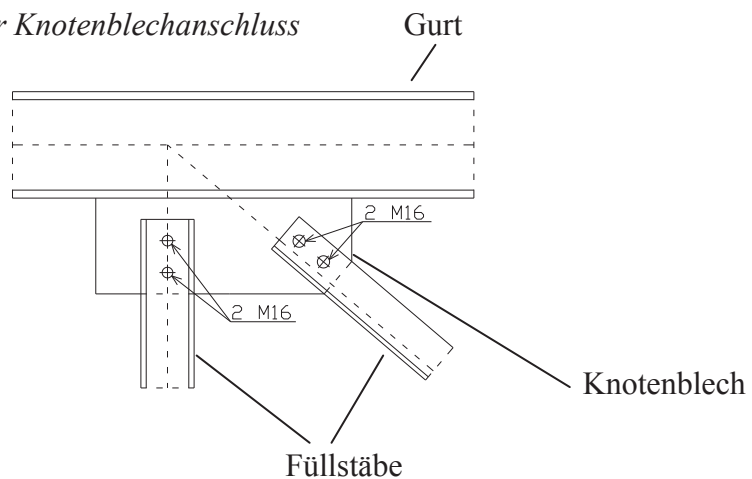
Wie im Vorfeld erwähnt werden geschraubte Stabanschlüsse nur noch selten verwendet. Da im Wesentlichen Schweißverbindungen bevorzugt werden. Sie sind jedoch bei Montagestößen von Bedeutung. Diese Montageverbindungen werden meist als Stirnplattenstoß ausgebildet.

Abbildung 3.14 Stirnplattenstoß



Bei einem Stirnplattenstoß werden die Schrauben infolge von Biegemomenten M und Normalkräften N auf Zug beansprucht.

Abbildung 3.15 Geschraubter Knotenblechanschluss



Bei einem Laschen Anschluss werden die Schrauben ausschließlich auf Abscheren beansprucht.

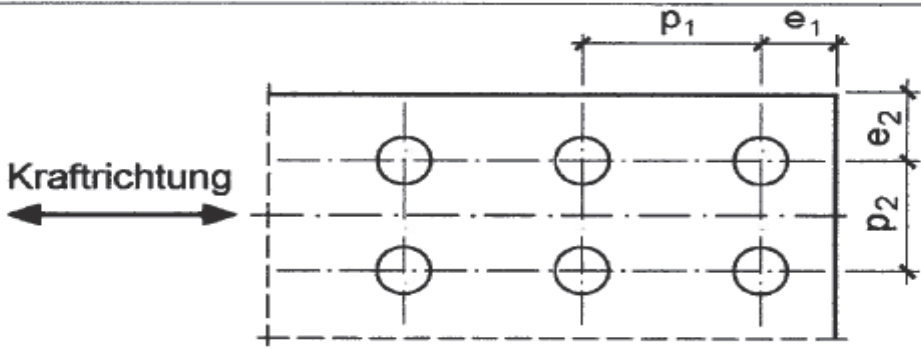
Bei der Konstruktion eines geschraubten Anschlusses ist zu beachten, dass:

- Stöße und Anschlüsse gedungen auszubilden sind und eine unmittelbare und symmetrische Stoßdeckung anzustreben ist
- Schrauben regelmäßig und symmetrisch anzuordnen sind, um einen günstigen Kraftfluss zu erhalten
- Exzentrizitäten zu vermeiden sind
- möglichst gleiche Schrauben in einem Bauteil bzw. Verbindung zu verwenden sind
- Lochabstände nicht zu groß zu wählen sind

Rand- und Lochabstände:

Die Lochabstände sind festzulegen, damit Korrosion und lokales Ausbeulen der Bleche vermieden wird und den Einbau der Schrauben ermöglicht. Die Festlegung der Abstände erfolgt über die Tabellen 3.17 und 3.18.

Tabelle 3.17 Grenzwerte für Rand- und Lochabstände [7]



Das Diagramm zeigt eine Bleche mit drei Schrauben in zwei Reihen. Die Krafttrichtung ist von links nach rechts durch einen Doppelpfeil mit der Aufschrift 'Krafttrichtung' dargestellt. Die Abstände sind wie folgt definiert: p_1 ist der Lochabstand zwischen den ersten beiden Schrauben in der oberen Reihe; e_1 ist der Randabstand von der letzten Schraube in der oberen Reihe bis zum rechten Rand; p_2 ist der Lochabstand zwischen den beiden Reihen; e_2 ist der Randabstand von der letzten Schraube in der unteren Reihe bis zum rechten Rand.

Rand- bzw. Lochabstände	kleinste Abstände	größte Abstände
Löcher, \rightarrow : p_1	$2,2 \cdot d_o$	200 mm oder $14 \cdot t$
Ränder, \rightarrow : e_1	$1,2 \cdot d_o$	$40 \text{ mm} + 4 \cdot t$
Ränder, \downarrow : e_2	$1,2 \cdot d_o$	$40 \text{ mm} + 4 \cdot t$
Löcher, \downarrow : p_2	$2,4 \cdot d_o$	200 mm oder $14 \cdot t$

Dabei sind: d_o Lochdurchmesser
 t Blechdicke

Tabelle 3.18 Regelabstände für Rand- und Lochabstände

Rand- bzw. Lochabstände	Regelabstände
Löcher, \rightarrow : p_1	$3,75 * d_0$
Ränder, \rightarrow : e_1	$3 * d_0$
Ränder, \rightarrow : e_2	$1,5 * d_0$
Löcher, \rightarrow : p_2	$3 * d_0$

Durch Verwendung der Regelabstände kann die Tragfähigkeit deutlich erhöht werden. Daher ist es sinnvoll diese Abstände einzuhalten.

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.2.1 Seite 112

Grenzabscherkraft:

je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} \Rightarrow$ Gewinde in Scherfuge

je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} \Rightarrow$ Schaft in Scherfuge

Dabei ist:

- α_v 0,6 für Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 8.8
- α_v 0,5 für Festigkeitsklassen 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9
- f_{ub} Zugfestigkeit der jeweiligen Schraubenfestigkeitsklasse
- A_s Spannungsquerschnittfläche der Schraube
- A Schaftquerschnittfläche der Schraube
- γ_{M2} 1,25; Teilsicherheitsbeiwert für Schrauben

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.2.1 Seiten 113, 114

Durchstanzen der Schraubverbindung

$$B_{p,Rd} = 0,6 * \pi * d_m * t_p * f_u / \gamma_{M2}$$

Dabei ist:

- d_m Mittelwert aus Eckmaß und Schlüsselweite des Schraubenkopfes oder der Schraubenmutter (kleinere Wert ist maßgebend)
- t_p Blechdicke der Unterlegscheibe
- f_u Zugfestigkeit des Bleches

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.7.2 Seite 100

Zugbeanspruchung einer Schraube:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

Dabei ist: k_2 0,63 für Senkschrauben, ansonsten 0,9

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.7.2 Seite 100

Kombination von Scher- und Zugbeanspruchung:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Diese Nachweisformel kann bei der Berechnung eines Stirnplattenstoßes von Bedeutung sein.

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.6 Seite 143

Grenzlochleibungskräfte:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

Dabei sind: f_u Zugfestigkeit des Bleches
 d Schaftdurchmesser der Schraube
 t Blechdicke
 k_1 Beiwert quer zur Kraftrichtung

für am Rand liegende Schrauben: $k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$

für innen liegende Schrauben: $k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 * \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$

α_b Beiwert in Kraftrichtung $\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ \alpha_d \end{array} \right.$

α_d für am Rand liegende Schrauben: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$

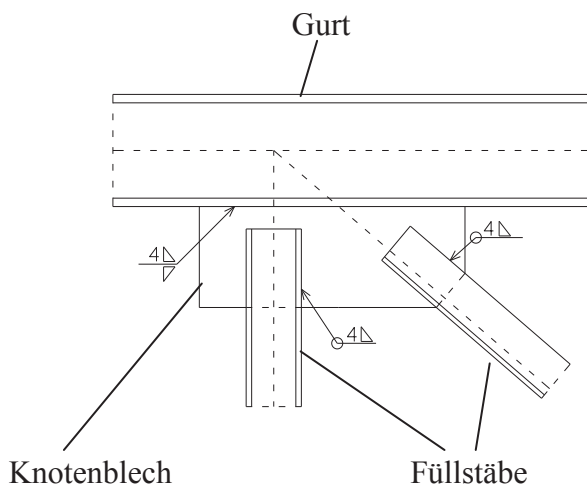
α_d für innen liegende Schrauben: $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.2.1 Seite 114, 115

3.4.3 Geschweißter Stabanschluss

Die geschweißten Verbindungen werden, wie bereits in Kapitel 3.4.1 beschrieben, in der Werkstatt gefertigt. Dabei ist zu beachten, dass die eingesetzten Baustähle den Anforderungen nach EN 1993-1-1: 2005 entsprechen. Desweiteren müssen die Schweißnähte die Anforderungen aus der Bezugsgroupen 5 in Abschnitt 1.2.5 des EN 1993-1-8:2005 erfüllen.

Abbildung 3.16 Geschweißter Knotenblechanschluss



Bei der Konstruktion der Anschlüsse ist zu beachten, dass

- die Baustähle eine Mindestdicke von 4 mm aufweisen
- die Bauteile und ihre Verbindungsmittel schweißgerecht zu konstruieren sind.

Eine schweißgerechte Konstruktion bedeutet, dass Anhäufungen von Schweißnähten vermieden, Kräfte und Spannungen ohne Störungen übertragen werden und keine abrupten Querschnittsübergänge vorkommen. Außerdem ist darauf zu achten, dass die Schweißnähte gut zugänglich sind.

Die Schweißnähte werden bei geschweißten Knotenblechanschlüssen hauptsächlich mit Kehlnähten ausgebildet. Dabei ist zu beachten, dass Flanken der anzuschließenden Bauteile einen Öffnungswinkel zwischen 60° und 120° haben. Desweiteren sollten die Schweißnähte nach Möglichkeit umlaufend geschweißt werden.

Bei der Bemessung der Schweißnahtverbindungen wird nach zwei verschiedenen Berechnungsverfahren unterschieden. Es gibt zum einen die Methode Richtungsbezogenes Verfahren und zum anderen das Vereinfachte Verfahren.

Überprüfung der Schweißnahtabmessungen

Wirksame Schweißnahtlänge:

$$\begin{aligned} L_w &\geq 30 \text{ mm} \\ &\geq 6 * a_w \\ &\leq 150 * a_w \end{aligned}$$

Dabei sind: L_w wirksame Schweißnahtlänge
 a_w wirksame Schweißnahtdicke

Wirksame Schweißnahtdicke:

$$\begin{aligned} a_w &\geq 3 \text{ mm} \\ &\geq \sqrt{\max t} - 0,5 \\ &\leq 0,7 * \min t \end{aligned}$$

Dabei ist: t min bzw. max Blechdicke

Schweißnahtfläche:

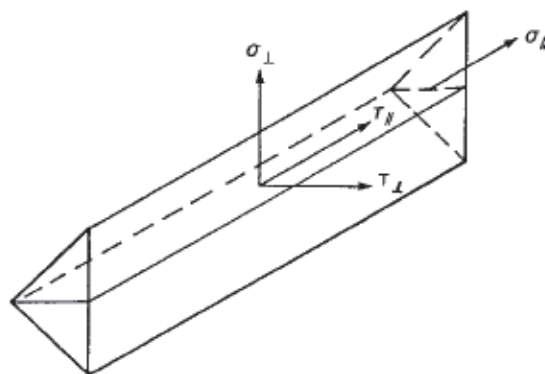
$$A_w = \sum a_w * l_{\text{eff}}$$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.7.2 Seite 96

Richtungsbezogenes Verfahren

Beim Richtungsbezogenen Verfahren wird nach den jeweiligen Spannungskomponenten, σ_{\perp} , σ_{\parallel} , τ_{\perp} und τ_{\parallel} unterschieden.

Abbildung 3.17 Spannungen im wirksamen Kehlnahtquerschnitt [7]



Die Normalspannung σ_{\parallel} parallel zur Schweißnahtachse wird hierbei vernachlässigt.

Bei der Berechnung von Verbindungen mit Bauteilen unterschiedlicher Stahlsorten sind in der Regel die Werkstoffkennwerte der niedrigeren Festigkeit zu verwenden.

Die Tragfähigkeit einer Schweißnaht kann als ausreichend betrachtet werden, wenn folgende beide Bedingungen erfüllt sind:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{(\beta_w * \gamma_{M2})}$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

- Dabei sind:
- σ_{\perp} Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtachse
 - τ_{\perp} Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse
 - τ_{\parallel} Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse
 - f_u Zugfestigkeit des schwächeren der angeschlossenen Bauteile
 - γ_{M2} 1,25; Teilsicherheitsbeiwert
 - β_w Korrelationsbeiwert für Kehlnähte

Tabelle 3.19 Korrelationsbeiwert β_w für Kehlnähte

Norm und Stahlsorte			Korrelationsbeiwert β_w
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.7.2 Seite 96, 97

Vereinfachtes Verfahren

Beim vereinfachten Verfahren ist die Tragfähigkeit der Schweißnaht ausreichend, wenn an jedem Punkt längs der Naht, die Resultierenden aller auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte je Längeneinheit, folgende Bedingung erfüllt [7]:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

Dabei sind: $F_{w,Ed}$ Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte

$$F_{w,Ed} = \sqrt{N_{\perp,Ed}^2 + V_{\perp,Ed}^2 + V_{\parallel,Ed}^2}$$

$F_{w,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a$$

mit: $f_{vw,d}$ Bemessungswert der Scherfestigkeit der Schweißnaht

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}}$$

a Schweißnahtdicke

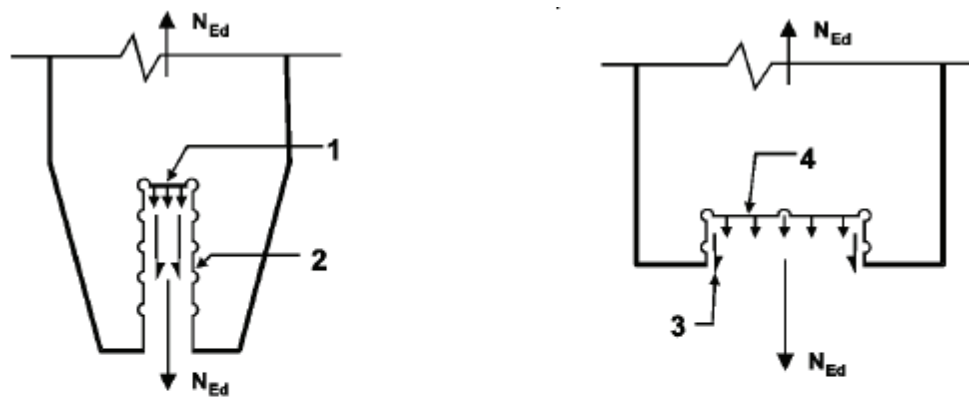
⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.2.2 Seite 121, 122

3.4.4 Bemessung Knotenblech

Das Knotenblech wird auf Herausreißen des Anschlussbereiches untersucht. Dabei wird im EC 3 nach zwei verschiedenen Bemessungsmethoden unterschieden. Die Nachweisführung erfolgt bei geschraubten Verbindungen über das Blockversagen von Schraubenverbindungen und bei geschweißten Verbindungen über die Risslinie.

Das Blockversagen kann geschehen, wenn das Blech auf Schub (in Kraftrichtung) in Kombination mit Zug am Ende der Schraubengruppe (senkrecht zur Kraft) versagt.

Abbildung 3.18 Blockversagen von Schraubengruppen

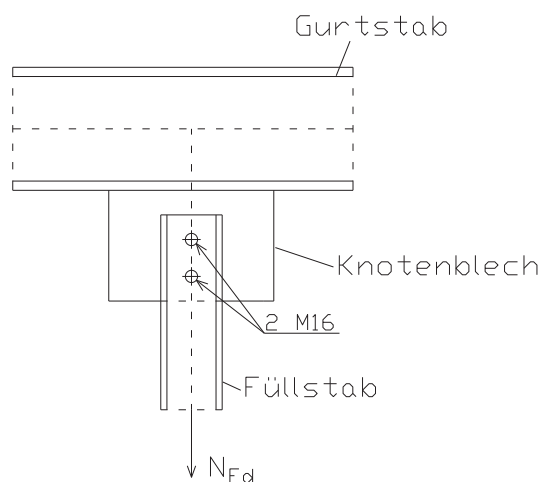


Legende

- 1 kleine Zugkraft
- 2 große Schubkraft
- 3 kleine Schubkraft
- 4 große Zugkraft

Knotenblechnachweis bei geschraubten Verbindungen:

Abbildung 3.19 Knotenblechnachweis bei geschraubten Verbindungen



Der Nachweis gegen das Herausreißen des Anschlussbereiches erfolgt aus dem Widerstand gegen Blockversagen $V_{\text{eff},1,\text{Rd}}$ und der wirkenden Normalkraft N_{Ed} . [7]

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} > N_{\text{Ed}}$$

Bestimmung des Widerstandes gegen Blockversagen $V_{\text{eff},1,\text{Rd}}$ bei zentrischer Belastung:

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = \frac{f_u * A_{\text{nt}}}{\gamma_{\text{M2}}} + \frac{f_y * A_{\text{nv}}}{\sqrt{3} * \gamma_{\text{M0}}}$$

Dabei sind:

f_u	Zugfestigkeit des Bleches
f_y	Streckgrenze des Bleches
A_{nt}	Zugbeanspruchte Netto- Querschnittsfläche
A_{nv}	Schubbeanspruchte Netto- Querschnittsfläche
γ_{M2}	1,25; Teilsicherheitsbeiwert der Verbindung
γ_{M0}	1,00; Teilsicherheitsbeiwert des Bleches

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.2.1 Seite 115

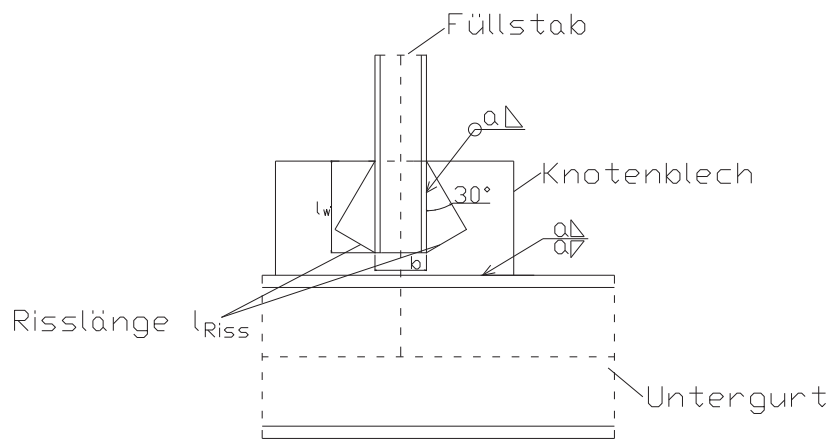
Bei exzentrischer Belastung erfolgt die Bestimmung des Widerstandes gegen Blockversagen $V_{\text{eff},2,\text{Rd}}$ über:

$$V_{\text{eff},2,\text{Rd}} = 0,5 * \frac{f_u * A_{\text{nt}}}{\gamma_{\text{M2}}} + \frac{f_y * A_{\text{nv}}}{\sqrt{3} * \gamma_{\text{M0}}}$$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.2.1 Seite 116

Knotenblechnachweis bei geschweißten Verbindungen:

Abbildung 3.20 Knotenblechanschluss mit geschweißter Verbindung



Der Knotenblechnachweis bei geschweißten Verbindungen erfolgt wie die Bemessung von zug- oder druckbeanspruchten Querschnitten nach Kapitel 3.3.2. Daraus resultieren die Gleichungen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad \text{bei Zugbeanspruchung und}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \text{bei Druckbeanspruchung.}$$

Dabei wird für die Widerstandsgrößen $N_{t,Rd}$ bzw. $N_{c,Rd}$, $N_{pl,Rd}$ eingesetzt.

Bestimmung von $N_{pl,Rd}$:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

Dabei ist: A Querschnittsfläche entlang der Risslinie

$$A = t_{Kb} * l_{Riss}$$

t_{Kb} Dicke des Knotenbleches

l_{Riss} Risslänge des angeschlossenen Füllstabes

$$l_{Riss} = 2 * l_w * \sin 30^\circ + b$$

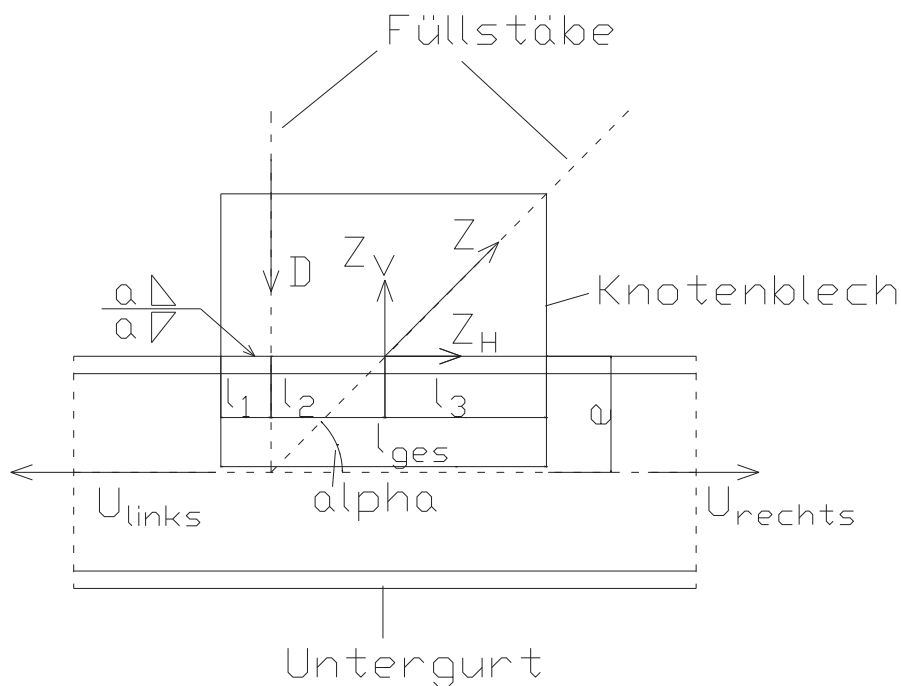
⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.2.2 Seite 122

3.4.5 Anschluss Knotenblech

Der Knotenblechanschluss an den Gurt wird meist Geschweißt mit Doppelkehlnähten ausgebildet. Die Bemessung der Verbindung kann ebenfalls nach dem Richtungsbezogenes Verfahren erfolgen. Um die Berechnung durchzuführen, müssen die angreifenden Kräfte aus den Füllstäben allerdings in Horizontale- und Vertikale Komponenten aufgeteilt werden. Die Bemessung erfolgt dann mit den verschiedenen Kraftkomponenten für die jeweilige Richtung.

Kraftverteilung:

Abbildung 3.21 Anschluss Knotenblech



Berechnung der Kraftkomponenten:

$$\uparrow \Sigma Z_V = \sin \alpha * Z$$

$$\rightarrow \Sigma Z_H = \cos \alpha * Z$$

Bestimmung des maximalen Momentes in der Schweißnaht:

Das maximal wirkende Moment wird mit der größten vertikalen Diagonalkraft bestimmt.

$$M_w = D * l_2 \text{ bzw. } Z_v * l_2$$

Bestimmung des Widerstandsmomentes der Schweißnaht:

$$W_w = \frac{2 * a}{6} * l_{\text{ges}}^2$$

Bestimmung der Normalspannung σ_{\perp} senkrecht zur Schweißnahtachse:

Die maximale Normalspannung wird mit dem wirkenden Moment und dem Widerstandsmoment ermittelt.

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_w}{W_w}$$

Bestimmung der Schweißnahtfläche:

$$A_w = 2 * a * l_{\text{ges}}$$

Bestimmung der Schubspannung τ_{\parallel} parallel zur Schweißnahtachse:

Die maximale Schubspannung wird mit der maximalen horizontalen Diagonalkraftkomponente und der Schweißnahtfläche ermittelt.

$$\tau_{\parallel} = \frac{Z_H}{A_w}$$

Die weitere Berechnung des Anschlusses erfolgt analog zu Kapitel 3.4.3 nach dem Richtungsbezogenen Verfahren.

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.2.1 Seite 116 - 118

3.5 Stabkraftanschluss am Hohlprofil

3.5.1 Allgemeines zum Hohlprofilanschluss

Die Bemessung von Anschlüssen mit Hohlprofilen erfolgt nach DIN EN 1993-1-8:2005. Es wird von einer ruhenden Beanspruchung ausgegangen. Desweiteren gelten die Anwendungsregeln nur für warmgefertigte Hohlprofile nach EN 10210 und für kaltgeformte Hohlprofile nach EN 10219. Bei der Konstruktion von Hohlprofilverbindungen ist zu beachten, dass die Anwendungsregeln eingehalten werden. Es ist sicherzustellen, dass:

- die Wanddicke mindestens 2,5 mm aber maximal 25 mm beträgt,
- die druckbeanspruchten Querschnitte den Anforderungen der Querschnittsklassen 1 oder 2 entsprechen,
- der Anschlusswinkel zwischen Gurtstäben und Streben $\theta_i \geq 30^\circ$ ist,
- bei Anschlüssen mit Spalt die Spaltweite größer als $t_1 + t_2$ ist um die Schweißbarkeit zu erhalten.

Bei Anschlüssen mit Überlappung ist außerdem zu beachten, dass:

- das Überlappungsverhältnis $\geq 25 \%$ ist, um die Querkraftübertragung von Strebe zu Streben zu ermöglichen,
- bei Streben mit unterschiedlicher Wanddicke bzw. Werkstofffestigkeit, die Strebe überlappt die den geringeren Wert $t_i f_{yi}$ aufweist,
- bei Streben mit unterschiedlicher Breite die Strebe mit der geringeren Breite aufsteht.

Nach DIN EN 1993-1-8:2005 müssen die Hohlprofilanschlüsse auf verschiedene Versagensformen untersucht werden. Dabei wird unterschieden nach:

- | | |
|--------|---|
| Typ a: | Flanschversagen des Gurtstabes |
| Typ b: | Seitenwandversagen des Gurtstabes |
| Typ c: | Schubversagen des Gurtstabes |
| Typ d: | Durchstanzen der Wandung eines Gurthohlprofiles |
| Typ e: | Versagen der Strebe durch eine verminderte effektive Breite |
| Typ f: | Lokales Beulversagen der Gurte bzw. Streben im Anschlusspunkt |

Die Bemessung von Hohlprofilanschlüssen ist in der wesentlichen Abfolge unabhängig von der Wahl des Gurtprofils und der Form der Knotenausbildung. Es wird immer zuerst der jeweilige Gültigkeitsbereich des geschweißten Anschlusses untersucht und anschließend die daraus resultierenden notwendigen Tragfähigkeiten ermittelt. Die spezifische Abfolge ist jedoch abhängig von der Gurtprofil- und Knotenwahl. Daher ist vor der Bemessung festzulegen, ob das Gurtprofil aus Kreishohlprofil (KHP), Rechteckhohlprofil (RHP), quadratischen Hohlprofilen, I- oder U- Profilen ausgebildet wird. In den folgenden Kapiteln wird nach dem Gurtprofil und der Stoßform unterschieden und an Hand dessen der jeweilige Nachweis geführt. Bei der Überprüfung der Gültigkeitsbereiche muss sichergestellt sein, dass der Anschluss innerhalb der vorgegebenen Grenzen liegt. Sollte dies der Fall sein, müssen nur die Tragfähigkeiten untersucht werden, die in den Tabellen dargestellt sind. Dabei ist zu beachten, dass die Tragfähigkeiten aus den Tabellen durch den kleinsten Wert definiert werden. Liegen die Querschnitte allerdings außerhalb der Gültigkeitsbereiche, sind alle Versagensformen zu untersuchen. Außerdem müssen dazu die vorhandenen Sekundärmomente bei der Berechnung mit beachtet werden. Da dies für alle Anschlüsse aus Hohlprofilen gilt, ist es anzustreben die Profilquerschnitte so zu wählen, dass diese sich innerhalb der Grenzbereiche befinden. Der Nachweis erfolgt bei ausschließlicher Längskrafteinwirkung mit der einwirkenden Normalkraft und der ermittelten Tragfähigkeit über die Formel [7]:

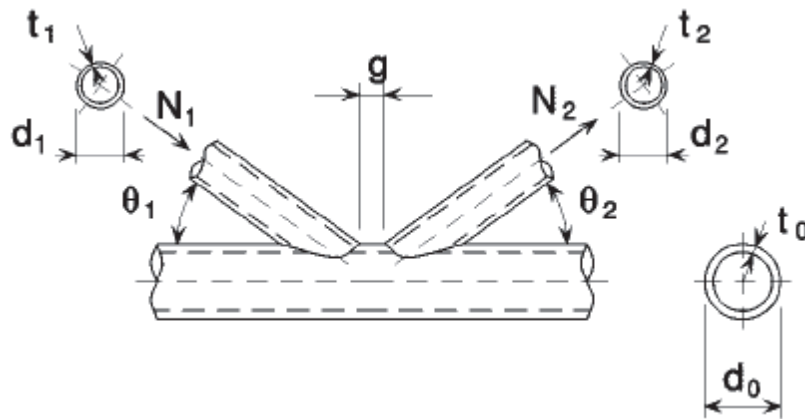
$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} \leq 1,0.$$

Dabei ist: $N_{i,Ed}$ Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
 $N_{i,Rd}$ Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit des Anschlusses
 für das jeweilige Bauteil

Bei Einwirkungen aus Längskraft und Biegemoment sind für die jeweilige Gurtwahl verschiedene Gleichungen anzuwenden. Diese Formeln werden in den jeweiligen Kapiteln dargestellt. Das einwirkende Biegemoment $M_{i,Ed}$ wird dabei am Anschnitt der Strebe am Gurtflansch bestimmt.

3.5.2 Knoten Tragfähigkeit bei Gurtstäben aus Kreishohlprofilen (KHP)

Abbildung 3.22 Darstellung eines Knotens aus einem KHP[7]



Wie schon in 3.5.1 Allgemeines zum Hohlprofilanschluss erläutert muss zu Beginn der Gültigkeitsbereich untersucht werden.

Tabelle 3.20 Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- Streben an KHP- Gurtstreben

0,2	\leq	d_i/d_0	\leq	1,0	
Klasse 2 und jedoch	10	\leq	$d_0/t_0 \leq$	50	für alle Anschlusstypen für X-Anschlüsse
Klasse 2 und	10	\leq	$d_i/t_i \leq$	50	
λ_{ov}	\geq	25 %			
g	\geq	$t_1 + t_2$			

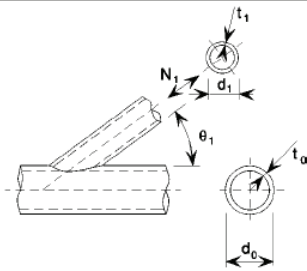
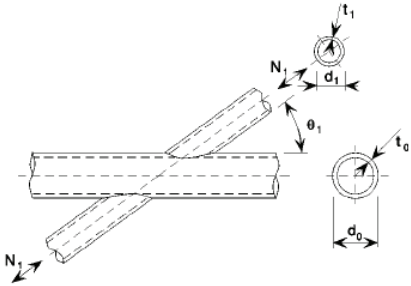
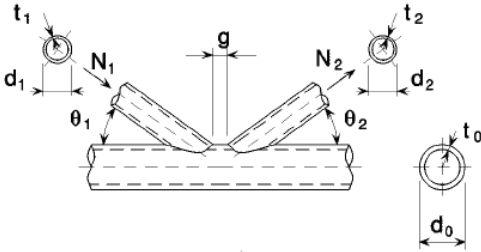
Dabei sind: d_i Gesamtdurchmesser der KHP- Streben
 d_0 Gesamtdurchmesser der KHP- Gurtstäbe
 t_0 Wanddicke der Gurtstäbe
 t_i Wanddicke der Streben
 λ_{ov} Überlappungsverhältnis in Prozent $\lambda_{ov} = (q/p) \cdot 100\%$
 g Spaltweite zwischen den Streben

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.4.1 Seite 131

Werden die Grenzen eingehalten, muss nur das Flanschversagen des Gurtstabs und Durchstanzen untersucht werden.

Nach der Untersuchung des Gültigkeitsbereiches werden die Tragfähigkeiten berechnet.

Tabelle 3.21 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von KHP-Streben an KHP-Gurtstäbe [7]

Flanschversagen des Gurtstabs — T- und Y-Anschlüsse	
	$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} (2,8 + 14,2 \beta^2) / \gamma_{M5}$
Flanschversagen des Gurtstabs — X-Anschlüsse	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \frac{5,2}{(1 - 0,81 \beta)} / \gamma_{M5}$
Flanschversagen des Gurtstabs — K- und N-Anschlüsse mit Spalt oder Überlappung	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5}$ $N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd}$
Durchstanzen — K-, N- und KT-Anschlüsse mit Spalt und alle T-, Y- und X-Anschlüsse [i = 1, 2 oder 3]	
<p>Falls $d_i \leq d_0 - 2t_0$: $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$</p>	
Beiwerte k_g und k_p	
$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5 g / t_0 - 1,33)} \right)$	
<p>Bei $n_p > 0$ (Druck): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ jedoch $k_p \leq 1,0$</p> <p>Bei $n_p \leq 0$ (Zug): $k_p = 1,0$</p>	

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.4.1 Seiten 131 - 133

Dabei sind: f_{y0} Streckgrenze des Werkstoffes des Gurtstabes

γ Verhältnis des Durchmessers des Gurtstabes zum zweifachen seiner Wanddicke $\frac{d_0}{2t_0}$; $\frac{b_0}{2t_0}$; $\frac{b_0}{2t_f}$

n_p Verhältnis zwischen vorhandener Spannung und der Streckgrenze des Gurtstabes

$$n_p = \frac{N_p}{f_{y,0} \cdot A_0} + \frac{M_0}{f_{y,0} \cdot W_{el,0}}$$

θ_i Winkel zwischen Gurtstab und Strebe

β Verhältnis der mittleren Durchmesser von Strebe und Gurtstab
- für T-, Y- und X- Anschlüsse:

$$\frac{d_1}{d_0} \cdot \frac{d_1}{b_0} \cdot \frac{b_1}{b_0}$$

- für K- und N- Anschlüsse:

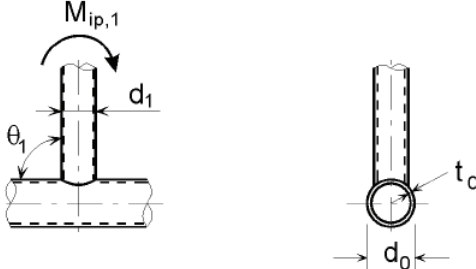
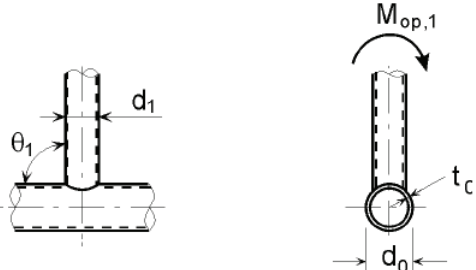
$$\frac{d_1 + d_2}{2d_0} \cdot \frac{d_1 + d_2}{2b_0} \cdot \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$$

- für KT- Anschlüsse:

$$\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0} \cdot \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3b_0} \cdot \frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}$$

γ_{M5} 1,00; Teilsicherheitsbeiwert für Knotenanschlüsse in Fachwerken mit Hohlprofilen

Tabelle 3.22 Biegetragfähigkeiten von geschweißten Anschlüssen von KHP-Streben an KHP-Gurtstäbe [7]

Flanschversagen des Gurtstabs — T-, X- und Y-Anschlüsse		
		$M_{ip,1,Rd} = 4,85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \sqrt{\gamma \beta} k_p / \gamma_{M5}$
Flanschversagen des Gurtstabs — K-, N-, T-, X- und Y-Anschlüsse		
		$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \frac{2,7}{1 - 0,81\beta} k_p / \gamma_{M5}$
Durchstanzen — K- und N-Anschlüsse mit Spalt und alle T-, X- und Y-Anschlüsse		
Falls $d_1 \leq d_0 - 2t_0$:		
$M_{ip,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3 \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$		
$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{3 + \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$		
Beiwert k_p		
Bei $n_p > 0$ (Druck): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ jedoch $k_p \leq 1,0$		
Bei $n_p \leq 0$ (Zug): $k_p = 1,0$		

Dabei ist: $M_{ip,i,Rd}$ Bemessungswert der Momententragfähigkeit des Anschlusses bei Biegung in der Tragwerksebene für das jeweilige Bauteil

$M_{op,i,Rd}$ Bemessungswert der Momententragfähigkeit des Anschlusses bei Biegung rechtwinklig zur Tragwerksebene für das jeweilige Bauteil

Nachdem die einzelnen Tragfähigkeiten ermittelt wurden, erfolgt die Bemessung der Knotentragfähigkeit. Dabei ist wie schon erwähnt zu unterscheiden, ob nur Längskräfte in den Anschlüssen oder auch Biegemomente wirken. Wenn die Streben an den Anschlüssen nur durch Längskräfte beansprucht werden, wird der Nachweis der Tragfähigkeit über die genannte Formel geführt.

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} \leq 1,0$$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.4.1 Seiten 132, 133

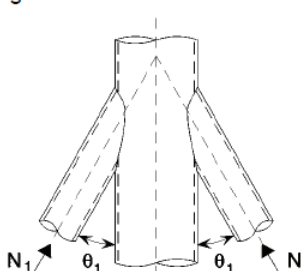
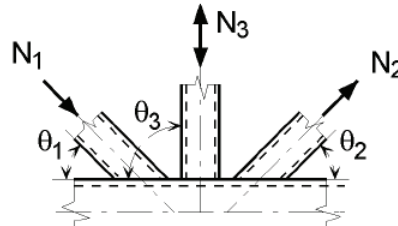
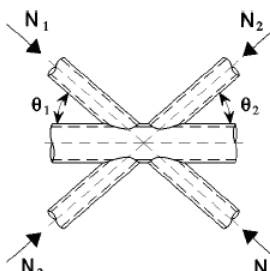
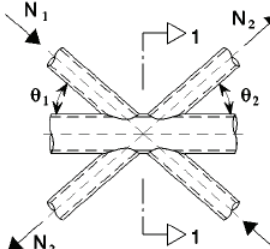
Falls die Streben an den Anschlüssen allerdings durch Biegemomente und Längskräfte beansprucht werden, ist der Nachweis der Tragfähigkeit über folgende Interaktionsformel zu führen:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,RD}} + \left[\frac{|M_{ip,i,Ed}|}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$$

Dabei ist: $M_{ip,i,Ed}$ einwirkende Biegemoment in der Ebene des Fachwerkes
 $M_{op,i,Ed}$ einwirkende Biegemoment rechtwinklig zur Ebene des Fachwerkes

Bei speziell geschweißten Anschlüssen von KHP-Streben an KHP- Gurtstäbe erfolgt die Bemessung über Tabelle 3.23.

Tabelle 3.23 Bemessungskriterien für speziell geschweißten Anschlüsse von KHP-Streben an KHP- Gurtstäbe

Anschlussstyp	Bemessungskriterien
<p>Die Kräfte können sowohl Zug- als auch Druckkräfte sein, müssen jedoch in der Regel in beiden Streben in gleicher Richtung wirken.</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ dem Wert $N_{1,Rd}$ für einen X-Anschluss nach Tabelle 7.2 entspricht.</p>
<p>In Strebe 1 immer Druckkraft und in Strebe 2 immer Zugkraft.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ dem Wert $N_{1,Rd}$ für einen K-Anschluss nach Tabelle 7.2 entspricht. Dabei wird</p> $\frac{d_1}{d_0} \text{ durch } \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0} \text{ ersetzt.}$
<p>In allen Streben entweder nur Druck oder nur Zug</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ <p>wobei $N_{x,Rd}$ dem Wert $N_{x,Rd}$ für einen X-Anschluss nach Tabelle 7.2 entspricht, wobei $N_{x,Rd} \sin \theta_x$ der größere der beiden folgenden Werte ist:</p> $ N_{1,Rd} \sin \theta_1 \text{ oder } N_{2,Rd} \sin \theta_2 $
<p>In Strebe 1 immer Druckkraft und in Strebe 2 immer Zugkraft.</p> 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K-Anschluss nach Tabelle 7.2 entspricht, vorausgesetzt, dass für den Gurtstab im Schnitt 1-1 bei Anschlüssen mit Spalt gilt:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

Bestimmung der Schweißnahtbemessung

Bei der Bemessung der erforderlichen Schweißnahtdicke gilt in der Regel [13]:

$$a \geq 3\text{mm und } a = t_i$$

Die Schweißnahtdicke kann allerdings um den Ausnutzungsgrad C_i reduziert werden.

Dabei gilt: $a_{\text{erf}} = C_i * t_i > 3\text{mm}$

$$\text{mit: } C_i = \frac{N_{i,Ed}}{26,1 * A_i}$$

A_i Querschnittsfläche des anzuschließenden Füllstabes

Die Füllstäbe werden im Allgemeinen, durch Kehlnähte, mit ihren kompletten Querschnitten an den Gurtstab angeschweißt. Dies ist anzustreben um einen besseren Kraftfluss zu ermöglichen.

Diese Bestimmungen gelten für alle Hohlprofilanschlüsse.

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.7.1 Seite 93

3.5.3 Knotentragfähigkeit bei Gurtstäben aus Rechteckhohlprofilen (RHP)

Abbildung 3.23 Darstellung eines Knotens aus RHP

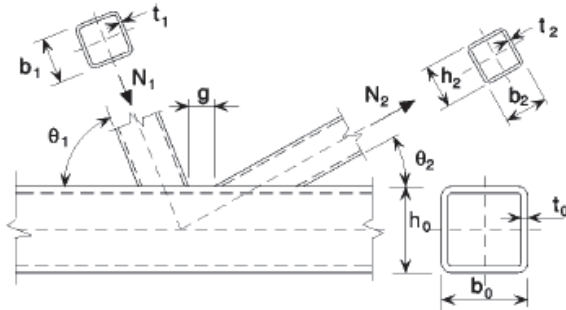


Tabelle 3.24 Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an RHP- Gurtstäbe

Anschluss typ	Anschlussparameter [$i = 1$ oder 2 , $j =$ überlappte Strebe]					
	b_i/b_0 oder d_i/b_0	b_i/t_i und h_i/t_i oder d_i/t_i		h_0/b_0 und h_i/b_i	b_0/t_0 und h_0/t_0	Spalt oder Überlappung b_i/b_j
		Druck	Zug			
T, Y oder X	$b_i/b_0 \geq 0,25$	$b_i/t_i \leq 35$ und $h_i/t_i \leq 35$ und Klasse 2	$b_i/t_i \leq 35$ und $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	≤ 35 und Klasse 2	—
K-Spalt N-Spalt	$b_i/b_0 \geq 0,35$ und $\geq 0,1 + 0,01 \cdot b_0/t_0$	$b_i/t_i \leq 35$ und Klasse 2	$b_i/t_i \leq 35$ und $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	≤ 35 und Klasse 2	$g/b_0 \geq 0,5(1 - \beta)$ jedoch $\leq 1,5(1 - \beta)^a$ und mindestens $g \geq t_1 + t_2$
K-Über- lappung N-Über- lappung	$b_i/b_0 \geq 0,25$	Klasse 1	$b_i/t_i \leq 35$ und $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	Klasse 2	$\lambda_{ov} \geq 25 \%$ jedoch $\lambda_{ov} \leq 100 \%^b$ und $b_i/b_j \geq 0,75$
KHP- Strebe	$d_i/b_0 \geq 0,4$ jedoch $\leq 0,8$	Klasse 1	$d_i/t_i \leq 50$	Wie oben, jedoch mit d_i anstatt b_i und d_j anstatt b_j		

^a Falls $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$ und $g/b_0 > t_1 + t_2$ ist der Anschluss wie zwei getrennte T- oder Y-Anschlüsse zu behandeln.

^b Die Überlappung kann vergrößert werden, um das Schweißen einer Naht an der Spitze der überlappten Strebe auf dem Gurtstab zu ermöglichen.

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.4.2 Seiten 133, 134

Wenn die Bedingungen aus Tabelle 3.24 eingehalten werden, wird die Tragfähigkeit nach den Tabellen 3.25, 3.26 und die Biegetragfähigkeit nach Tabelle 3.27 bestimmt. Demnach müssen die Bemessungskriterien Flanschversagen des Gurtstabes, Schubversagen des Gurtstabes, Versagen der Strebe und Durchstanzen untersucht werden.

Tabelle 3.25 Tragfähigkeit von geschweißten T-, X- und Y- Anschlüssen von RHP- oder KHP- Streben an RHP- Gurtstäbe

Anschlussstyp	Tragfähigkeit [$i = 1$]
	Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 0,85$
	$N_{i,Rd} = \frac{k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Seitenwandversagen des Gurtstabs ^a $\beta = 1,0$ ^b
	$N_{i,Rd} = \frac{f_b \cdot t_0}{\sin \theta_1} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5}$
	Versagen der Strebe $\beta \geq 0,85$
	$N_{i,Rd} = f_{yt} \cdot t_i (2h_i - 4t_i + 2b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	Durchstanzen $0,85 \leq \beta \leq (1 - 1/\gamma)$
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_1} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_1} + 2b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$
Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren und b_1 und h_1 ist durch d_1 und b_2 sowie h_2 durch d_2 zu ersetzen.	
Für Zug: $f_b = f_{y0}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yt} t_i} b_i$ jedoch $b_{eff} \leq b_i$
Für Druck: $f_b = \chi \cdot f_{y0}$ (T- und Y-Anschlüsse) $f_b = 0,8 \chi \cdot f_{y0} \sin \theta_i$ (X-Anschlüsse)	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0 t_0} b_i$ jedoch $b_{e,p} \leq b_i$
Dabei ist χ der Abminderungsbeiwert nach der maßgebenden Knickkurve für Biegeknicken nach EN 1993-1-1, wobei der Schlankheitsgrad wie folgt berechnet wird: $\bar{\lambda} = 3,46 \frac{\left(\frac{h_0}{t_0} - 2 \right) \sqrt{\frac{1}{\sin \theta_i}}}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}}$	Für $n > 0$ (Druck): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$ jedoch $k_n \leq 1,0$ Für $n \leq 0$ (Zug): $k_n = 1,0$
^a Bei X-Anschlüssen mit $\theta < 90^\circ$ ist das Minimum von diesem Wert und der Schubtragfähigkeit der Gurtstabseitenwände für K- und N-Anschlüsse mit Spalt nach Tabelle 7.12 anzusetzen. ^b Bei $0,85 \leq \beta \leq 1,0$ wird zwischen den Werten für Flanschversagen des Gurtstabs mit $\beta = 0,85$ und für Seitenwandversagen des Gurtstabs (Beulen der Seitenwand oder Schubversagen) mit $\beta = 1,0$ linear interpoliert.	

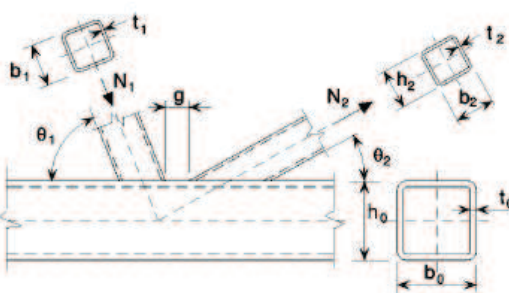
Dabei ist: η Verhältnis der Höhe der Strebe zu Durchmesser oder Breite des Gurtstabes

$$\eta = \frac{h_i}{d_0} \text{ oder } \frac{h_i}{b_0}$$

n Verhältnis zwischen maximal einwirkender Druckspannung und Streckgrenze im Gurtstab am Anschluss

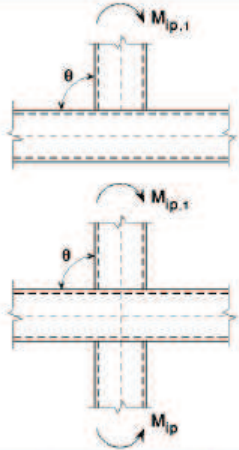

$$n = \frac{N_0}{A_0 \cdot f_{y,0}} + \frac{M_0}{W_{el,0} \cdot f_{y,0}}$$

Tabelle 3.26 Tragfähigkeit von geschweißten K- und N-Anschlüssen von RHP- oder KHP-Streben an RHP-Gurtstäbe

Anschlussstyp	Tragfähigkeit [$i = 1$ oder 2]
K- und N-Anschlüsse mit Spalt	Flanschversagen des Gurtstabs
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9 k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 b_0} \right) / \gamma_{M5}$
	Schubversagen des Gurtstabs
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$
	$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
	Versagen der Strebe
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2 h_i - 4 t_i + b_i + b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	Durchstanzen $\beta \leq (1 - 1/\gamma)$
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left(\frac{2 h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$
K- und N-Anschlüsse mit Überlappung	Wie in Tabelle 7.10.
Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren und b_1 und h_1 ist durch d_1 und b_2 sowie h_2 durch d_2 zu ersetzen.	
$A_v = (2 h_0 + \alpha b_0) t_0$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{jedoch } b_{eff} \leq b_i$
Für eine RHP-Strebe: $\alpha = \sqrt{1 + \frac{4 g^2}{3 t_0^2}}$	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0 t_0} b_i \quad \text{jedoch } b_{e,p} \leq b_i$
wobei g die Spaltbreite ist, siehe Bild 1.3(a).	
Für eine KHP-Strebe: $\alpha = 0$	Für $n > 0$ (Druck): $k_n = 1,3 - \frac{0,4 n}{\beta}$
	jedoch $k_n \leq 1,0$
	Für $n \leq 0$ (Zug): $k_n = 1,0$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.4.2 Seiten 135 -137

Tabelle 3.27 Biegetragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP- Streben an RHP- Gurtstäbe

T- und X-Anschlüsse	Biegetragfähigkeit
Moment in der Ebene des Fachwerks ($\theta = 90^\circ$)	Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 0,85$
	$M_{ip,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 h_1 \left(\frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Seitenwandversagen des Gurtstabs (plast. Stauchen) $0,85 \leq \beta \leq 1,0$
	$M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{yk} t_0 (h_1 + 5t_0)^2 / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0}$ für T-Anschlüsse $f_{yk} = 0,8 f_{y0}$ für X-Anschlüsse
	Versagen der Strebe $0,85 \leq \beta \leq 1,0$
	$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - (1 - b_{eff}/b_1) b_1 h_1 t_1) / \gamma_{M5}$
Moment rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks ($\theta = 90^\circ$)	Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 0,85$
	$M_{op,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \left(\frac{h_1(1+\beta)}{2(1-\beta)} + \sqrt{\frac{2b_0b_1(1+\beta)}{1-\beta}} \right) / \gamma_{M5}$
	Seitenwandversagen des Gurtstabs (plast. Stauchen) $0,85 \leq \beta \leq 1,0$
	$M_{op,1,Rd} = f_{yk} t_0 (b_0 - t_0) (h_1 + 5t_0) / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0}$ für T-Anschlüsse $f_{yk} = 0,8 f_{y0}$ für X-Anschlüsse
	Versagen des Gurtstabs durch Querschnittsverformung (nur T-Anschlüsse) ^a
	$M_{op,1,Rd} = 2 f_{y0} t_0 (h_1 t_0 + \sqrt{b_0 h_0 t_0 (b_0 + h_0)}) / \gamma_{M5}$
	Versagen der Strebe $0,85 \leq \beta \leq 1,0$
	$M_{op,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - 0,5 (1 - b_{eff}/b_1)^2 b_1^2 t_1) / \gamma_{M5}$
Parameter b_{eff} und k_n	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1$ jedoch $b_{eff} \leq b_1$	Für $n > 0$ (Druck): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$ jedoch $k_n \leq 1,0$ Für $n \leq 0$ (Zug): $k_n = 1,0$
^a Dieses Kriterium braucht nicht berücksichtigt zu werden, wenn die Querschnittsverformung des Gurtstabs durch geeignete Maßnahmen verhindert wird.	

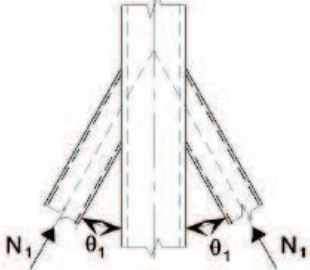
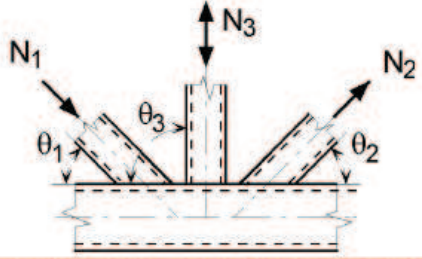
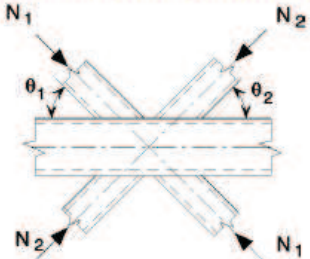
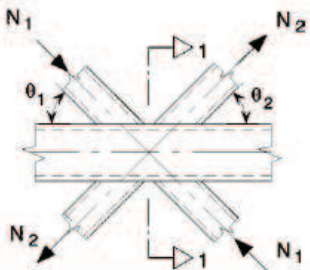
Der Nachweis bei ausschließlicher Längskrafteinwirkung erfolgt wie vorher erwähnt. Wirken allerdings Biegemomente und Längskräfte in den Anschlüssen der Streben, ist der Nachweis der Tragfähigkeit über folgende Interaktionsformel zu führen:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.7 Seite 145

Bei speziell geschweißten Anschlüssen von RHP-Streben an RHP- Gurtstäbe erfolgt die Bemessung über Tabelle 3.28.

Tabelle 3.28 Bemessungskriterien für spezielle geschweißte Anschlüsse von RHP-Streben an RHP- Gurtstäben

Anschlusstyp	Bemessungskriterien
<p>Die Kräfte können sowohl Zug- als auch Druckkräfte sein, jedoch in beiden Streben gleich.</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ dem Wert $N_{1,Rd}$ für einen X-Anschluss nach Tabelle 7.11 entspricht.</p>
<p>In Strebe 1 immer Druckkraft und in Strebe 2 immer Zugkraft.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ dem Wert $N_{1,Rd}$ für einen K-Anschluss nach Tabelle 7.12 entspricht. Dabei wird</p> $\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$ <p>durch: $\frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}$ ersetzt.</p>
<p>In allen Streben entweder nur Druck oder nur Zug.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ <p>wobei $N_{x,Rd}$ dem Wert $N_{x,Rd}$ für einen X-Anschluss nach Tabelle 7.11 entspricht. Dabei ist $N_{x,Rd} \sin \theta_x$ der größere der beiden folgenden Werte:</p> $ N_{1,Rd} \sin \theta_1 \text{ oder } N_{2,Rd} \sin \theta_2 $
<p>In Strebe 1 immer Druckkraft und in Strebe 2 immer Zugkraft.</p> 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K-Anschluss nach Tabelle 7.12 entspricht, vorausgesetzt, dass für den Gurtstab im Schnitt 1-1 bei Anschlüssen mit Spalt gilt:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

3.5.4 Knotentragfähigkeit bei Gurtstäben aus quadratischen Hohlprofilen

Diese Nachweisführung kann verwendet werden, wenn die anzuschließenden Streben aus KHP bzw. quadratischen Hohlprofilen und die Gurtstäbe ebenfalls aus quadratischen Hohlprofilen bestehen.

Tabelle 3.29 Zusätzliche Bedingungen für die Verwendung von Tabelle 3.30

Querschnitt der Strebe	Anschlussstyp	Anschlussparameter	
Quadratisches Hohlprofil	T, Y oder X	$b_i/b_0 \leq 0,85$	$b_0/t_0 \geq 10$
	K-Spalt oder N-Spalt	$0,6 \leq \frac{b_1+b_2}{2b_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$
KHP	T, Y oder X		$b_0/t_0 \geq 10$
	K-Spalt oder N-Spalt	$0,6 \leq \frac{d_1+d_2}{2d_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.7.1 Seite 90

Wenn die Grenzwerte der Tabellen 3.24 und 3.29 eingehalten werden, wird nur Flanschversagen des Gurtstabes und Versagen der Strebe mit reduzierter Breite untersucht. Diese Tragfähigkeitskriterien können aus der Tabelle 3.30 ermittelt werden.

Tabelle 3.30 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen mit quadratischen Hohlprofilen- oder KHP- Streben an quadratische Hohlprofile

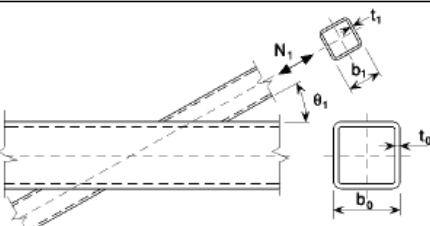
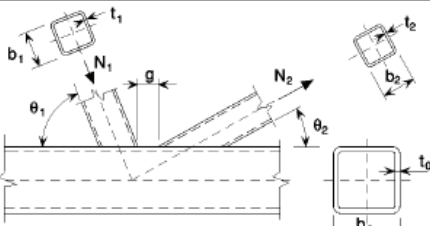
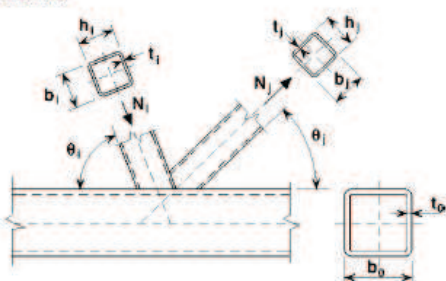
Anschlussstyp	Tragfähigkeit [$i = 1$ oder $2, j =$ überlappte Strebe]
T-, Y- und X-Anschlüsse 	Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 0,85$ $N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
K- und N-Anschlüsse mit Spalt 	Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 1,0$ $N_{i,Rd} = \frac{8,9 \gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} \left(\frac{b_1+b_2}{2b_0} \right) / \gamma_{M5}$

Tabelle 3.30 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen mit quadratischen Hohlprofilen- oder KHP- Streben an quadratische Hohlprofile (Fortsetzung)

K- und N-Anschlüsse mit Überlappung ^a	Versagen der Strebe	25 % ≤ λ _{ov} < 50 %
	$N_{i,Rd} = f_{yt} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + \frac{\lambda_{ov} (2h_i - 4t_i)}{50} \right) / \gamma_{M5}$	
	Versagen der Strebe 50 % ≤ λ _{ov} < 80 %	
	$N_{i,Rd} = f_{yt} t_i [b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i] / \gamma_{M5}$	
	Versagen der Strebe λ _{ov} ≥ 80 %	
	$N_{i,Rd} = f_{yt} t_i [b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i] / \gamma_{M5}$	
Parameter b_{eff} , $b_{e,ov}$ und k_n		
$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yt} t_i} b_i$ jedoch $b_{eff} \leq b_i$	Für $n > 0$ (Druck): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$ jedoch $k_n \leq 1,0$	
$b_{e,ov} = \frac{10}{b_j / t_j} \frac{f_{yt} t_j}{f_{yt} t_i} b_i$ jedoch $b_{e,ov} \leq b_i$		
	Für $n \leq 0$ (Zug): $k_n = 1,0$	
Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit π/4 zu multiplizieren und b_1 und h_1 durch d_1 und b_2 sowie h_2 durch d_2 zu ersetzen.		
^a Nur die überlappte Strebe i braucht nachgewiesen zu werden. Der Ausnutzungsgrad (d. h. die Tragfähigkeit des Anschlusses dividiert durch die plastische Beanspruchbarkeit der Strebe) der überlappenden Strebe j ist in der Regel mit dem Ausnutzungsgrad der überlappenden Strebe gleichzusetzen.		

Die Nachweisführung erfolgt analog zu Kapitel 3.5.3 Knoten Tragfähigkeit bei Gurtstäben aus Rechteckhohlprofilen.

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.1.7.1 Seite 90

3.5.5 Knoten Tragfähigkeit bei Gelen aus I- oder H- Profilen

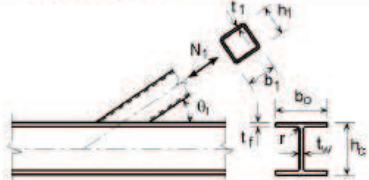
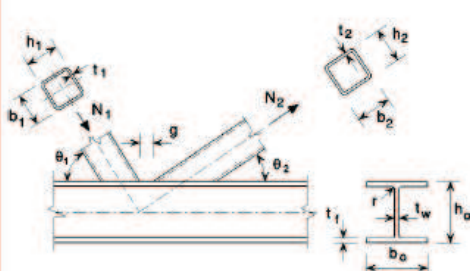
In diesem Kapitel wird die Tragfähigkeit von Anschlüssen aus KHP bzw. RHP an I- oder H-Profilen untersucht.

Tabelle 3.31 Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an I- oder H- Profil Gurtstäbe

Anschluss- typ	Anschlussparameter [$i = 1$ oder $2, j = \text{überlappte Strebe}$]				
	d_w / l_{tw}	b_i / l_{ti} und h_i / l_{ti} oder d_i / l_{ti}		h_i / b_i	b_0 / l_{ti}
		Druck	Zug		
X	Klasse 1 und $d_w \leq 400 \text{ mm}$	Klasse 1 und $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	—
T oder Y	Klasse 2 und $d_w \leq 400 \text{ mm}$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$	1,0	—
K-Spalt N-Spalt			$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	—
K-Über- lappung N-Über- lappung					$\geq 0,75$

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.4.3 Seite 137

Tabelle 3.32 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP- oder KHP- Streben an I- oder H- Profilen

Anschluss-typ	Tragfähigkeit [$i = 1$ oder $2, j = \text{überlappte Strebe}$]	
T-, Y- und X-Anschlüsse	Fließen des Steges des Gurtstabes	
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_1} / \gamma_{M5}$	
	Versagen der Strebe	
	$N_{1,Rd} = 2 f_{y1} t_1 p_{eff} / \gamma_{M5}$	
K- und N-Anschlüsse mit Spalt [$i = 1$ oder 2]	Stabilitätsversagen des Steges des Gurtstabes	Nachweis gegen Versagen der Strebe nicht erforderlich, wenn: $g/t_f \leq 20 - 28\beta$; $\beta \leq 1,0 - 0,03\gamma$ wobei $\gamma = b_0/2t_f$ und für KHP: $0,75 \leq d_1/d_2 \leq 1,33$ oder für RHP: $0,75 \leq b_1/b_2 \leq 1,33$
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_1} / \gamma_{M5}$	
	Versagen der Strebe	
	$N_{i,Rd} = 2 f_{y1} t_1 p_{eff} / \gamma_{M5}$	
	Schubversagen des Gurtstabes	
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_1} / \gamma_{M5}$	
	$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$	

Bei einwirkenden Längskräften und Biegemomenten wird die Bemessung über die folgende Gleichung geführt:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \leq 1,0$$

3.5.6 Knoten Tragfähigkeit bei Gurten aus U- Profilen

Die Bemessung erfolgt fast analog zu Kapitel 3.5.6 Knoten Tragfähigkeit bei Gurten aus I- oder H- Profilen. Die Unterschiede bestehen darin, dass die Gültigkeitsbereiche und die Tragfähigkeiten über andere Tabellen ermittelt werden.

Tabelle 3.34 Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an U- Profil Gurtstäbe

Anschluss- typ	Anschlussparameter [$i = 1$ oder $2, j =$ überlappte Strebe]					
	b_i/b_0	b_i/t_i und h_i/t_i oder d_i/t_i		h_i/b_i	b_0/t_0	Spalt oder Überlappung b_i/b_j
		Druck	Zug			
K-Spalt N-Spalt	$\geq 0,4$ und $b_0 \leq 400 \text{ mm}$	Klasse 1 und $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	Klasse 2	$0,5(1-\beta^*) \leq g/b_0^* \leq 1,5(1-\beta^*)^a$ und $g \geq t_1 + t_2$
K-Über- lappung N-Über- lappung	$\geq 0,25$ und $b_0 \leq 400 \text{ mm}$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$			$25 \% \leq \lambda_{ov} < 100 \%$ $b_i/b_j \geq 0,75$
$\beta^* = b_1/b_0^*$ $b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0)$						
a Diese Bedingung gilt nur, wenn $\beta \leq 0,85$.						

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.5 Seite 141

Tabelle 3.35 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP- oder KHP- Streben an U-Profil Gurtstäbe

Anschlussstyp	Tragfähigkeit [$i = 1$ oder $2, j = \text{überlappte Strebe}$]
K- und N-Anschlüsse mit Spalt	Versagen der Strebe $N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{eff} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$ Versagen des Gurtstabs $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
K- und N-Anschlüsse mit Überlappung ^a	Versagen der Strebe $25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$ $N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{e,ov} + (2h_i - 4t_i) \lambda_{ov} / 50) / \gamma_{M5}$ Versagen der Strebe $50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$ $N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$ Versagen der Strebe $\lambda_{ov} \geq 80 \%$ $N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
$A_v = A_0 - (1 - \alpha) b_0^* t_0$ $b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0)$ Bei RHP: $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 4g^2 / 3t_i^2}}$ Bei KHP: $\alpha = 0$ $V_{pl,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3}} / \gamma_{M5}$ $V_{Ed} = (N_{i,Ed} \sin \theta_i)_{max}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0^*} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i$ jedoch $b_{eff} \leq b_i$ $b_{e,ov} = \frac{10}{b_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i$ jedoch $b_{e,ov} \leq b_i$
Bei KHP-Streben sind die oben genannten Grenzwerte außer bei Versagen des Gurtstabs mit $\pi/4$ zu multiplizieren und b_1 und h_1 ist durch d_1 und b_2 sowie h_2 durch d_2 zu ersetzen.	
^a Nur die überlappende Strebe i braucht nachgewiesen zu werden. Der Ausnutzungsgrad (d. h. die Tragfähigkeit des Anschlusses dividiert durch die plastische Beanspruchbarkeit der Strebe) der überlappten Strebe j ist in der Regel mit dem Ausnutzungsgrad der überlappenden Strebe gleichzusetzen.	

Die Nachweisführung ist identisch zu der aus Kapitel 3.5.6 Knotentragfähigkeit bei Guten aus I- oder H- Profilen.

⇒ Beispiel siehe Kapitel 4.5 Seite 142

3.6 Allgemeiner Berechnungsablauf zur Bemessung von Fachwerkbindern

Der allgemeine Berechnungsablauf zur Bemessung von Fachwerkbindern erfolgt über mehrere einzelne Schritte. Dabei wird wie folgt vorgegangen.

1. Festlegung der Ausfachungsart und der Abmessungen. Zur Orientierung kann Systemhöhe $\approx 1/15$ Systemlänge angesetzt werden. (siehe Kapitel 2.2)
2. Verteilung der einwirkenden Lasten auf das System. Dabei sollte so vorgegangen werden, dass die Lasten möglichst ausschließlich in den Knoten einwirken (Vermeidung von zusätzlichen Momenten).
3. Entscheidung über Profilwahl, ob offene- oder Hohlprofile. (siehe Kapitel 2.3)
4. Berechnung der Stabkräfte. Dazu werden die Schnittgrößen nach den jeweiligen Verfahren, Knotengleichgewichtsverfahren oder Ritterschnitt ermittelt. Desweiteren muss überprüft werden, ob eventuell vorhandene Biegemomente zu beachten sind. (siehe Kapitel 3.1)
5. Klassifizierung der Querschnittsklassen (siehe Kapitel 3.2). Bei der Einteilung ist zu beachten, dass die Hohlprofile den Klassen 1 oder 2 entsprechen.
6. Bemessung der Querschnitte nach jeweiligen Nachweisverfahren (s. Kapitel 3.3)
7. Bemessung der Knotenanschlüsse
- 7.1 Anschluss mit offenen Profilen (siehe Kapitel 3.4)

Bei der Knotenausbildung mit offenen Profilen muss unterschieden werden, ob die Anschlüsse geschweißt oder geschraubt auszubilden sind. Die Reihenfolge der Anschlussbemessung ist davon allerdings unabhängig. Demnach wird zuerst der Anschluss der Füllstäbe an das Knotenblech untersucht und anschließend das Grundmaterial des Knotenbleches auf Herausreißen. Die Bemessung der Verbindung Knotenblech an Gurtprofil erfolgt zumeist geschweißt und zum Schluss der Knotenbemessung.

- 7.2 Anschluss mit Hohlprofilen (siehe Kapitel 3.5)

Die Knotenausbildung mit Hohlprofilen erfolgt fast ausschließlich geschweißt. Bei der Bemessung des Anschlusses ist so vorzugehen, dass zu Beginn der Gültigkeitsbereich des jeweils gewählten Querschnittes und anschließend die Tragfähigkeit untersucht wird. Der Nachweis erfolgt dann an Hand der ermittelten Tragfähigkeiten und der einwirkenden Belastungen.

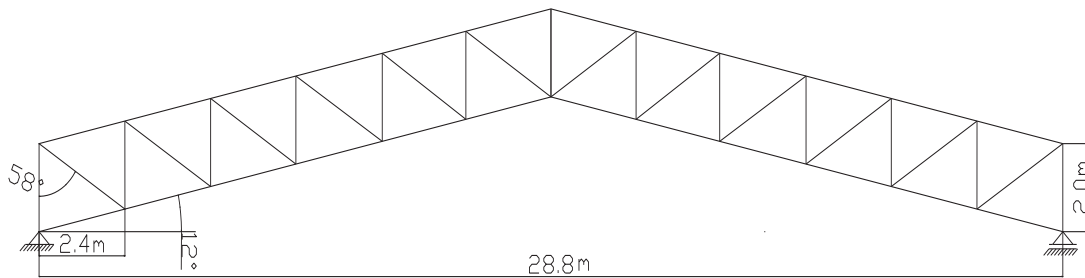
4. Beispielrechnungen

4.1 Vollständige Beispielrechnung eines Fachwerkträgers

4.1.1 Festlegung des Fachwerksystems mit dazugehörigen Abmessungen

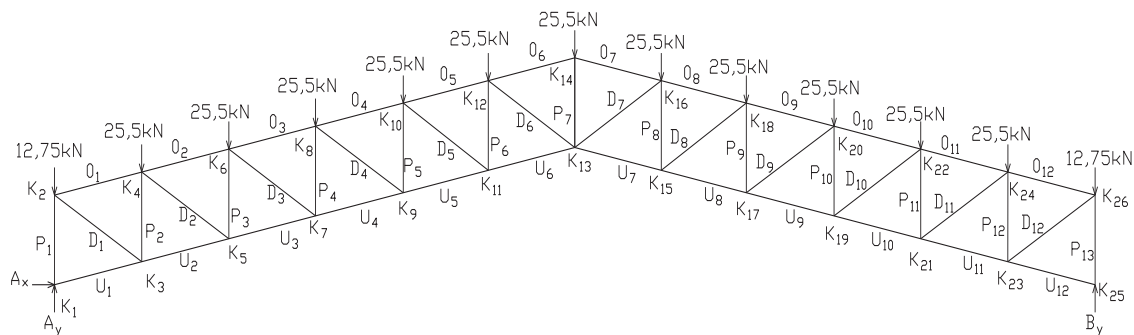
Systemhöhe = $l/15 = 28,8/15 = 1,92 \approx 2,0$ m

Abbildung 4.1 Festlegung des Fachwerksystems mit Abmessungen (Beispielrechnung)



4.1.2 Freigeschnittenes Fachwerksystem mit äußerer Belastung

Abbildung 4.2 Freigeschnittenes System mit äußerer Belastung (Beispielrechnung)



4.1.3 Profilvorwahl

Das vorhandene Fachwerk wird fast komplett mit Hohlprofilen aus S 235J0 ausgebildet. Lediglich der Pfosten in der Mitte wird, aus konstruktiven Gründen, aus einem offenen Profil gefertigt.

Vorauswahl der zu verwendenden Profile:

Ober- und Untergurt: QHP 150 x 5 (warmgefertigt) *)

Pfosten: QHP 60 x 4 (warmgefertigt)

Pfosten mitte: 2 x U 60

Diagonalen: QHP 60 x 4 (warmgefertigt)

*) siehe Seite 96 Nachweis Anschluss Untergurt an Stirnplatte

4.1.4 Berechnung der Stabkräfte

Ermittlung der Auflagerreaktion:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -2 \cdot 12,75 \text{ kN} - 11 \cdot 25,5 \text{ kN} + B_y + A_y = 0$$

$$A_y = B_y = (2 \cdot 12,75 \text{ kN} + 11 \cdot 25,5 \text{ kN}) / 2$$

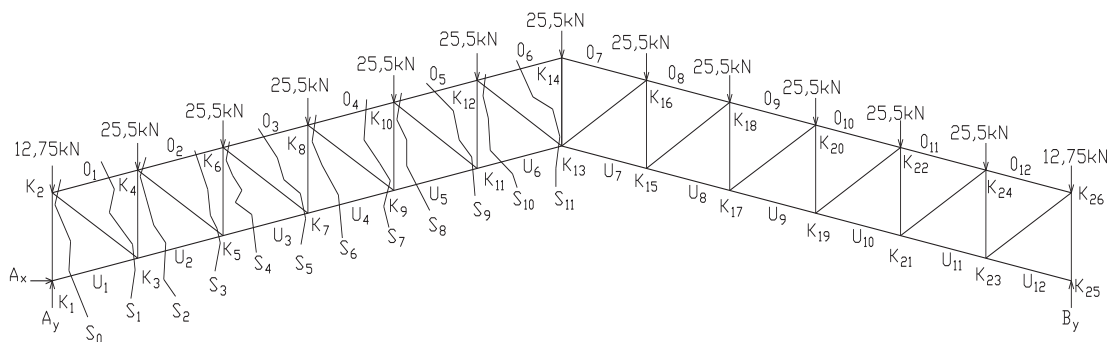
$$\underline{A_y = B_y = 153 \text{ kN}}$$

$$\rightarrow \Sigma H = 0; \quad \underline{A_x = 0}$$

Ermittlung der Stabkräfte:

Die Ober- und Untergurtkräfte werden nach dem Ritterschnittverfahren berechnet. Da es sich bei diesem Beispiel um ein symmetrisches Fachwerk handelt, müssen nur die Stabkräfte auf einer Seite der Konstruktion berechnet werden. Die Kräfte auf der anderen Seite sind identisch mit den ermittelten Werten. In dem Beispiel werden die Stäbe auf der linken Seite untersucht und durch diese auch die zur Bestimmung notwendigen Schnitte gelegt.

Abbildung 4.3 Schnitte durch das Fachwerksystem (Beispielrechnung)



Mit S0: $\Sigma M_{K2} = 0; \quad (153 \text{ kN} - 12,75 \text{ kN}) \cdot 0 \text{ m} - U_1 \cdot 2 \text{ m} \cdot \cos 12^\circ = 0$

$$\underline{U_1 = U_{12} = 0 \text{ kN}}$$

Mit S1: $\Sigma M_{K3} = 0; \quad (153 \text{ kN} - 12,75 \text{ kN}) \cdot 2,4 \text{ m} - O_1 \cdot 2 \text{ m} \cdot \cos 12^\circ = 0$

$$O_1 = (367,2 \text{ kNm} - 30,6 \text{ kNm}) / 1,956 \text{ m}$$

$$\underline{O_1 = O_{12} = -U_2 = -U_{11} = -172,1 \text{ kN}}$$

$$\text{Mit S3: } \Sigma M_{K5} = 0; \quad (153\text{kN} - 12,75\text{kN}) * 4,8\text{m} - 25,5\text{kN} * 2,4\text{m} - O_2 * 1,956\text{m} = 0$$

$$O_2 = (673,2\text{kNm} - 61,2\text{kNm}) / 1,956\text{m}$$

$$\underline{O_2 = O_{11} = - U_3 = - U_{10} = - 312,9\text{kN}}$$

$$\text{Mit S5: } \Sigma M_{K7} = 0; \quad (153\text{kN} - 12,75\text{kN}) * 7,2\text{m} - 25,5\text{kN} * (4,8\text{m} + 2,4\text{m}) - O_3 * 1,956\text{m} = 0$$

$$O_3 = (1009,8\text{kNm} - 183,6\text{kNm}) / 1,956\text{m}$$

$$\underline{O_3 = O_{10} = - U_4 = - U_9 = - 422,4\text{kN}}$$

$$\text{Mit S7: } \Sigma M_{K9} = 0; \quad (153\text{kN} - 12,75\text{kN}) * 9,6\text{m} - 25,5\text{kN} * (7,2\text{m} + 4,8\text{m} + 2,4\text{m}) - O_3 * 1,956\text{m} = 0$$

$$O_4 = (1346,4\text{kNm} - 367,2\text{kNm}) / 1,956\text{m}$$

$$\underline{O_4 = O_9 = - U_5 = - U_8 = - 500,6\text{kN}}$$

$$\text{Mit S9: } \Sigma M_{K11} = 0; \quad (153\text{kN} - 12,75\text{kN}) * 12\text{m} - 25,5\text{kN} * (9,6\text{m} + 7,2\text{m} + 4,8\text{m} + 2,4\text{m}) - O_5 * 1,956\text{m} = 0$$

$$O_5 = (1683\text{kNm} - 612\text{kNm}) / 1,956\text{m}$$

$$\underline{O_5 = O_8 = - U_6 = - U_7 = - 547,5\text{kN}}$$

$$\text{Mit S11: } \Sigma M_{K13} = 0; \quad (153\text{kN} - 12,75\text{kN}) * 14,4\text{m} - 25,5\text{kN} * (12\text{m} + 9,6\text{m} + 7,2\text{m} + 4,8\text{m} + 2,4\text{m}) - O_6 * 1,956\text{m} = 0$$

$$O_6 = (2019,6\text{kNm} - 918\text{kNm}) / 1,956\text{m}$$

$$\underline{O_6 = O_7 = - 563,2\text{kN}}$$

Die Stabkraftberechnung der Füllstäbe erfolgt über das Knotengleichgewichtsverfahren.

Knoten K1:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad 153\text{kN} + P_1 + U_1 * \sin 12^\circ = 0$$

$$\underline{P_1 = P_{13} = -153\text{ kN}}$$

Knoten K2:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -12,75 \text{ kN} - P_1 - D_1 \cdot \sin 32^\circ + O_1 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$D_1 = (-12,75 \text{ kN} + 153 \text{ kN} - 35,78 \text{ kN}) / \sin 32^\circ$$

$$\underline{D_1 = D_{12} = 197,1 \text{ kN}}$$

Knoten K3:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad P_2 + D_1 \cdot \sin 32^\circ - U_1 \cdot \sin 12^\circ + U_2 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$P_2 = -104,4 \text{ kN} + 35,8 \text{ kN}$$

$$\underline{P_2 = P_{12} = -140,2 \text{ kN}}$$

Knoten K4:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -25,5 \text{ kN} - P_2 - O_1 \cdot \sin 12^\circ - D_2 \cdot \sin 32^\circ + O_2 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$D_2 = (-25,5 \text{ kN} + 140,2 \text{ kN} + 35,8 \text{ kN} - 65,1 \text{ kN}) / \sin 32^\circ$$

$$\underline{D_2 = D_{11} = 161,2 \text{ kN}}$$

Knoten K5:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad P_3 + D_2 \cdot \sin 32^\circ - U_2 \cdot \sin 12^\circ + U_3 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$P_3 = -85,4 \text{ kN} + 35,8 \text{ kN} - 65,1 \text{ kN}$$

$$\underline{P_3 = P_{11} = -114,7 \text{ kN}}$$

Knoten K6:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -25,5 \text{ kN} - P_3 - O_2 \cdot \sin 12^\circ - D_3 \cdot \sin 32^\circ + O_3 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$D_3 = (-25,5 \text{ kN} + 114,7 \text{ kN} + 65,1 \text{ kN} - 87,8 \text{ kN}) / \sin 32^\circ$$

$$\underline{D_3 = D_{10} = 125,5 \text{ kN}}$$

Knoten K7:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad P_4 + D_3 \cdot \sin 32^\circ - U_3 \cdot \sin 12^\circ + U_4 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$P_4 = -66,5 \text{ kN} + 65,1 \text{ kN} - 87,8 \text{ kN}$$

$$\underline{P_4 = P_{10} = -89,2 \text{ kN}}$$

Knoten K8:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -25,5\text{kN} - P_4 - O_3 \cdot \sin 12^\circ - D_4 \cdot \sin 32^\circ + O_4 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$D_4 = (-25,5\text{kN} + 89,2\text{kN} + 87,8\text{kN} - 104,1\text{kN}) / \sin 32^\circ$$

$$\underline{D_4 = D_9 = 89,4 \text{ kN}}$$

Knoten K9:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad P_5 + D_4 \cdot \sin 32^\circ - U_4 \cdot \sin 12^\circ + U_5 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$P_5 = -45,7\text{kN} + 87,8\text{kN} - 104,1\text{kN}$$

$$\underline{P_5 = P_9 = -62,0 \text{ kN}}$$

Knoten K10:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -25,5\text{kN} - P_5 - O_4 \cdot \sin 12^\circ - D_5 \cdot \sin 32^\circ + O_5 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$D_5 = (-25,5\text{kN} + 62,0\text{kN} + 104,1\text{kN} - 113,8\text{kN}) / \sin 32^\circ$$

$$\underline{D_5 = D_8 = 50,6 \text{ kN}}$$

Knoten K11:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad P_6 + D_5 \cdot \sin 32^\circ - U_5 \cdot \sin 12^\circ + U_6 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$P_6 = -26,8\text{kN} + 104,1\text{kN} - 113,8\text{kN}$$

$$\underline{P_6 = P_8 = -36,5 \text{ kN}}$$

Knoten K12:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -25,5\text{kN} - P_6 - O_5 \cdot \sin 12^\circ - D_6 \cdot \sin 32^\circ + O_6 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

$$D_6 = (-25,5\text{kN} + 36,5\text{kN} + 113,8\text{kN} - 117,1\text{kN}) / \sin 32^\circ$$

$$\underline{D_6 = D_7 = 14,5 \text{ kN}}$$

Knoten K14:

$$\uparrow \Sigma V = 0; \quad -25,5\text{kN} - P_7 - O_7 \cdot \sin 12^\circ - O_6 \cdot \sin 12^\circ = 0$$

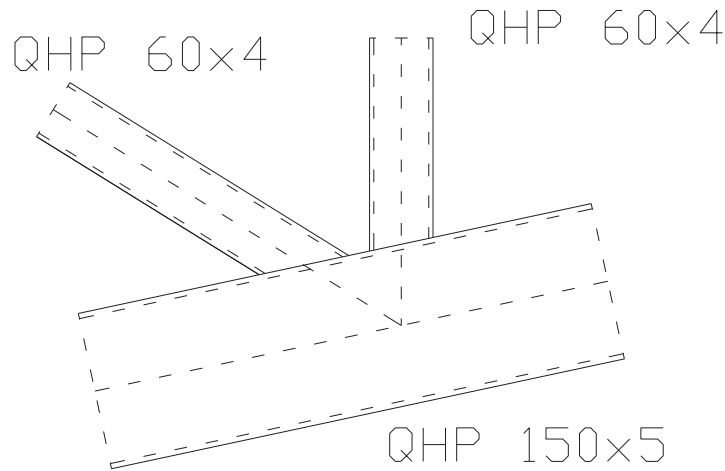
$$P_7 = (-25,5\text{kN} + 117,1\text{kN} + 117,1\text{kN})$$

$$\underline{P_7 = 208,7 \text{ kN}}$$

Überprüfung der Biegemomente

1. Momente aus Knotenexzentrizität:

Abbildung 4.4 Überprüfung der Biegemomente (Beispielrechnung)



In dieser Abbildung erkennt man, dass sich die Systemlinien in einem Punkt treffen und somit keine Momente aus Knotenexzentrizitäten entstehen.

2. Sekundäre Momente aus den Anschlüssen:

Da die gewählten Profilquerschnitte aus Hohlprofilen bestehen, müssen die Gültigkeitsbereiche untersucht werden. Dazu wird die Tabelle 3.29 herangezogen. Daraus folgt für quadratische Hohlprofile mit N- Spalt die Bedingung:

$$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \leq 1,3 \quad \text{und} \quad b_0/t_0 \geq 15$$

$$0,6 \leq \frac{60 + 60}{2 \cdot 60} = 1,0 \leq 1,3 \quad \text{und} \quad 150/5 = 30 \geq 15$$

Desweiteren wird die Bedingung: Systemlänge / Bauteilhöhe > 6 eingehalten.

$$28,8\text{m} / 2,0\text{m} = 14,4 > 6$$

Auf Grund dessen ist sichergestellt, dass keine Momente aus den tatsächlichen Steifigkeiten in den Anschlüssen wirken.

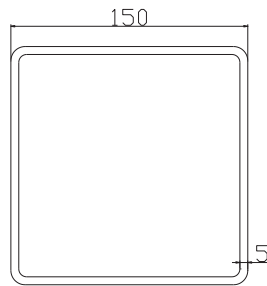
3. Momente infolge der Querbelastung:

Da die einwirkenden Lasten ausschließlich in die Knoten geführt wurden und nicht als Querbelastung auf die Stäbe, entstehen keine Momente infolge von Querbelastung.

4.1.5 Klassifizierung der Querschnittsklassen

Bei der Klassifizierung der Querschnitte müssen die auf Druck beanspruchten Bauteile in ihre jeweilige Querschnittsklasse eingeteilt werden. Die zu untersuchenden Bauteile sind der Obergurt bestehend aus dem Profil QRO 150x5 und die Pfosten aus QRO 60x4.

QHP 150x5



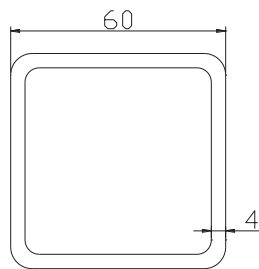
Steg = Flansch:

$$\text{vorh } \frac{c}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\text{vorh } \frac{130}{5} = 26 \leq 33 * \varepsilon = 33$$

=> Querschnittsklasse 1

QHP 60x4:



Steg = Flansch:

$$\text{vorh } \frac{c}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\text{vorh } \frac{44}{4} = 11 \leq 33 * \varepsilon = 33$$

=> Querschnittsklasse 1

4.1.6 Bemessung der Querschnitte

- Nachweis der auf Zug beanspruchten Querschnitte (nach Kapitel 3.3.2 Querschnittsnachweise)

Nachweis des Untergurtes U6:

Querschnittswerte:

QHP 150x5, S235 ^{*)} siehe Seite 96 Nachweis Anschluss Untergurt an Stirnplatte

$$A = 28,7 \text{ cm}^2$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 547,5 \text{ kN}$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{28,7 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 674,5 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{547,5 \text{ kN}}{674,5 \text{ kN}} = 0,81 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

Nachweis der Diagonalen D1:

Querschnittswerte:

QHP 60x4, S235

$$A = 8,79 \text{ cm}^2$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 197,1 \text{ kN}$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{8,79 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 206,6 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{197,1 \text{ kN}}{206,6 \text{ kN}} = 0,95 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

Nachweis des Pfosten P7:

Querschnittswerte:

2*U 60, S235

$$A = 2 \cdot 6,46 \text{ cm}^2 = 12,92 \text{ cm}^2$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 208,7 \text{ kN}$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{12,92 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 303,6 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{208,7 \text{ kN}}{303,6 \text{ kN}} = 0,69 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

- Nachweis der auf Druck beanspruchten Querschnitte (nach Kapitel 3.3.2 Querschnittsnachweis und Kapitel 3.3.3 Biegeknicken).

Querschnittsnachweis des Obergurtes O6: (nach Kapitel 3.3.2 Querschnittsnachweise)

Querschnittswerte:

QHP 150x5, S235 ^{*)} siehe Seite 96 Nachweis Anschluss Untergurt an Stirnplatte

$$A = 28,7 \text{ cm}^2$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 563,2 \text{ kN}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{28,7 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 674,5 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{563,2 \text{ kN}}{674,5 \text{ kN}} = 0,83 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

Stabilitätsnachweis des Obergurtes O6: (nach Kapitel 3.3.3 Biegeknicken)

Querschnittswerte:

QHP 150x5, S235 ^{*)} siehe Seite 96 Nachweis Anschluss Untergurt an Stirnplatte

$$A = 28,7 \text{ cm}^2$$

$$I = 1002 \text{ cm}^4$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 563,2 \text{ kN}$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

mit: $\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$

$$\phi = 0,5 * \left[1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

α nach Knickspannungslinie (KSL)

Ermittlung der Knickspannungslinie nach Tabelle 3.6

$$\text{KSL} \Rightarrow a$$

Ermittlung des Imperfektionsbeiwertes α nach Tabelle 3.5

$$\alpha = 0,21$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \frac{l_{cr}}{i} * \frac{1}{\lambda_1}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{l_{cr}^2}$$

$$l_{cr} = \beta * l = 0,9 * 2,4 \text{ m} / \cos 12^\circ$$

$$l_{cr} = 2,21 \text{ m}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * 21000 \text{ kN/cm}^2 * 1002 \text{ cm}^4}{(221 \text{ cm})^2} = 4252 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{28,7 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{4252 \text{ kN}}} = 0,4$$

$$\phi = 0,5 * [1 + 0,21 * (0,4 - 0,2) + 0,4^2] = 0,601$$

$$\chi = \frac{1}{0,601 + \sqrt{0,601^2 - 0,4^2}} = 0,95$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,95 * 28,7 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 640,7 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{563,2 \text{ kN}}{640,7 \text{ kN}} = 0,88 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

Querschnittsnachweis des Pfosten P1: (nach Kapitel 3.3.2 Querschnittsnachweise)

Querschnittswerte:

QHP 60x4, S235

$$A = 8,79 \text{ cm}^2$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 153 \text{ kN}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{8,79 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 206,6 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{153 \text{ kN}}{206,6 \text{ kN}} = 0,74 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

Stabilitätsnachweis des Pfosten P1: (nach Kapitel 3.3.3 Biegeknicken)

Querschnittswerte:

QHP 60x4, S235

$$A = 8,79 \text{ cm}^2$$

$$I = 45,4 \text{ cm}^4$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 153 \text{ kN}$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

mit: $\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$

$$\phi = 0,5 * \left[1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

α nach Knickspannungslinie (KSL)

Ermittlung der Knickspannungslinie nach Tabelle 3.6

$$\text{KSL} \Rightarrow a$$

Ermittlung des Imperfektionsbeiwertes α nach Tabelle 3.5

$$\alpha = 0,21$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \frac{l_{cr}}{i} * \frac{1}{\lambda_1}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{l_{cr}^2}$$

$$l_{cr} = \beta * l = 0,75 * 2,0 \text{ m}$$

$$l_{cr} = 1,5 \text{ m}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * 21000 \text{ kN/cm}^2 * 45,4 \text{ cm}^4}{(150 \text{ cm})^2} = 418 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{8,79 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{418 \text{ kN}}} = 0,70$$

$$\phi = 0,5 * [1 + 0,21 * (0,70 - 0,2) + 0,70^2] = 0,798$$

$$\chi = \frac{1}{0,798 + \sqrt{0,798^2 - 0,70^2}} = 0,847$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,847 * 8,79 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 175 \text{ kN}$$

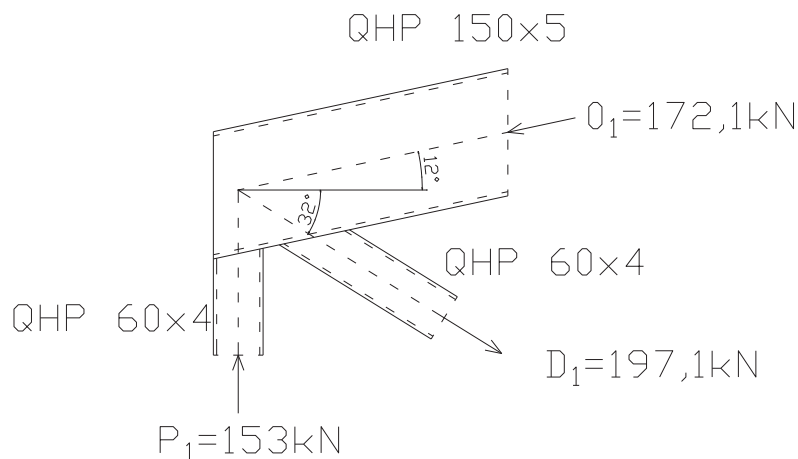
Nachweis: $\frac{153 \text{ kN}}{175 \text{ kN}} = 0,87 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

4.1.7 Bemessung der Anschlüsse

4.1.7.1 Bemessung der Knotenpunkte K1 – K12 und K15 – K26

Die Bemessung des Anschlusses erfolgt an Knoten K2, da an diesem die größten Füllstabkräfte wirken.

Abbildung 4.5 Knoten K2 (Beispielrechnung)



1. Überprüfung der Gültigkeitsbereiche nach Tabelle 3.24 und 3.29

Nach Tabelle 3.24 Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an RHP- Gurtstäbe

$$\frac{b_i}{b_0} = \frac{60}{150} = 0,4 \geq 0,35$$

$$\frac{b_i}{b_0} = 0,4 \geq 0,1 + 0,01 * \frac{b_0}{t_0} = 0,1 + 0,01 * \frac{150}{5} = 0,4$$

Zugstab = Druckstab: $\frac{b_i}{t_i} = \frac{60}{4} = 15 \leq 35$ und $\leq \text{QSKL } 2 = 38 * \epsilon = 38$

$$0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} = \frac{60}{60} = 1 \leq 2,0$$

Gurtstab: $0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} = \frac{150}{150} = 1 \leq 2,0$

$$\frac{h_0}{t_0} = \frac{150}{5} = 30 \leq 35 \text{ und } \leq \text{QSKL } 2 = 38 * \epsilon = 38$$

Spaltweite: $g = 20\text{mm} \geq t_1 + t_2 = 4 + 4 = 8\text{mm}$

$$0,5 * (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1,5 * (1 - \beta)$$

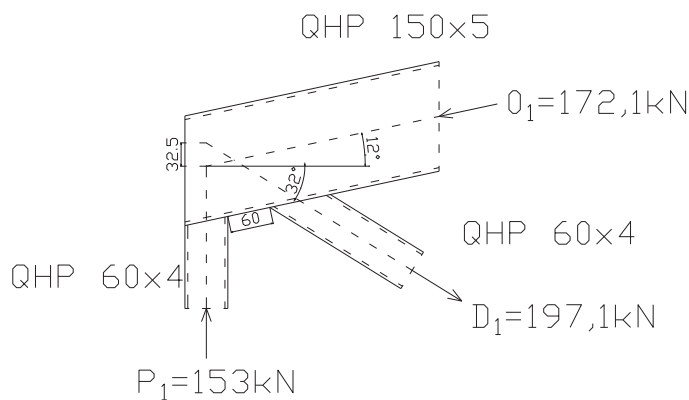
$$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 * b_0} = \frac{4 * 60}{4 * 150} = 0,4$$

$$0,5 * (1 - 0,4) = 0,3 \not\leq \frac{20}{150} = 0,13 \leq 1,5 * (1 - 0,4) = 0,9$$

Die Spaltweite muss somit vergrößert werden $\Rightarrow g = 60\text{mm}$

$$0,5 * (1 - 0,4) = 0,3 \leq \frac{60}{150} = 0,4 \leq 1,5 * (1 - 0,4) = 0,9$$

Abbildung 4.6 Knoten K2 mit Exzentrizität (Beispielrechnung)



Da die Spaltweite vergrößert wurde entstehen Momente aus Knotenexzentrizitäten. Es muss geprüft werden, ob die Momente beachtet werden müssen oder nicht. Dies erfolgt nach Kapitel 3.1.3 Biegemomente.

Berechnung des wirkenden Momentes mit $e = 32,5\text{mm}$:

$$M = D_{1,h} * e = 197,1 \text{ kN} * \cos 32^\circ * 3,25 \text{ cm} = 543,2 \text{ kNcm}$$

$$-0,55 * h_0 \leq e \leq 0,25 * h_0$$

$$-0,55 * 150 = -82,5\text{mm} \leq 32,5\text{mm} \leq 0,25 * 150 = 37,5\text{mm}$$

Daraus ist ersichtlich, dass das Moment in der Berechnung des Anschlusses nicht mit betrachtet werden muss. Es muss allerdings in der Bemessung des Obergurtes berücksichtigt werden. Da es sich aber nur um ein sehr kleines Moment und einem relativ steifen Querschnitt (QHP 150x5) handelt, ist die Auswirkung auf die Bemessung sehr gering und kann daher vernachlässigt werden.

Nach Tabelle 3.29 Zusätzliche Bedingungen für die Verwendung von Tabelle 3.30

$$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} = \frac{60 + 60}{2 \cdot 60} = 1,0 \leq 1,3$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{150}{5} = 30 \geq 15$$

Da die Grenzbereiche bei diesem Anschluss eingehalten werden und keine Überlappung im Anschluss vorhanden ist, muss nur das Flanschversagen des Gurtstabes untersucht werden. Dies geschieht über die Tabelle 3.30 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen mit quadratischen Hohlprofilen oder KHP.

2. Nachweis des geschweißten Anschlusses der Druckstrebe P1 an den Gurtstab (Flanschversagen des Gurtstabes)

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 \cdot \gamma^{0,5} \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} \right) / \gamma_{M5}$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{150 \text{ cm}}{2 \cdot 5 \text{ cm}} = 15$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta} \leq 1,0$$

$$\beta = 0,4$$

$$n = \frac{O_1}{A \cdot f_{y0} \cdot \gamma_{M5}} = \frac{172,1 \text{ kN}}{\left(28,7 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 1,0 \right)} = 0,26$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,26}{0,4} = 1,04 \leq 1,0$$

$$k_n = 1,0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 \cdot 15^{0,5} \cdot 1,0 \cdot \frac{23,5 \text{ kN}}{\text{cm}^2} \cdot (0,5 \text{ cm})^2}{\sin (90^\circ - 12^\circ)} \cdot \frac{\left(\frac{6 \text{ cm} + 6 \text{ cm}}{2 \cdot 15 \text{ cm}} \right)}{1,0}$$

$$N_{1,Rd} = 82,8 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{153,0 \text{ kN}}{82,8 \text{ kN}} = 1,85 \not\leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt.}$

Da der Nachweis nicht eingehalten wird, muss der Gurtstab verstärkt werden. Dies geschieht mit einer Gurtlamelle, die auf den Flansch des Gurtstabes geschweißt wird. Die Bemessung der Verstärkung erfolgt über die Tabelle 4.1 Tragfähigkeit von geschweißten verstärkten K- und N- Anschlüssen von RHP- oder KHP- Streben an RHP- Gurtstäbe.

Tabelle 4.1 Tragfähigkeit von geschweißten verstärkten K- und N- Anschlüssen von RHP- oder KHP- Streben an RHP- Gurtstäbe

Anschlussstyp	Tragfähigkeit [$i = 1$ oder 2]
Verstärkung durch Gurtlamellen auf Gurtstabflanschen zur Vermeidung des Flanschversagens der Gurtstäbe, des Versagens der Strebe oder des Durchstanzens.	
	$\ell_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ $b_p \geq b_0 - 2 t_0$ $t_p \geq 2 t_1 \text{ und } 2 t_2$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K- oder N-Anschluss nach Tabelle 7.12 entspricht. Dabei ist t_0 durch t_p für Flanschversagen des Gurtstabs, Versagen der Strebe und Durchstanzens zu ersetzen.</p>
Verstärkung durch paarweise Seitenlamellen zur Vermeidung des Schubversagens des Gurtstabes.	
	$\ell_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K- oder N-Anschluss nach Tabelle 7.12 entspricht. Dabei ist t_0 durch $(t_0 + t_p)$ für Schubversagen des Gurtstabes zu ersetzen.</p>
Verstärkung durch eine Quersteife zwischen den Streben bei ungenügender Überlappung.	
	$t_p \geq 2 t_1 \text{ und } 2 t_2$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K- oder N-Anschluss mit Überlappung nach Tabelle 7.12 mit $\lambda_{ov} < 80 \%$ entspricht. Dabei sind b_j, t_j und $f_{y,j}$ durch b_p, t_p und f_{yp} im Ausdruck für $b_{e,ov}$ in Tabelle 7.10 zu ersetzen.</p>

Bemessung der Gurtlamelle:

Länge:
$$l_p \geq 1,5 * \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$$

$$l_p \geq 1,5 * \left(\frac{60\text{mm}}{\sin 78^\circ} + 60\text{mm} + \frac{60\text{mm}}{\sin 44^\circ} \right)$$

$$l_p \geq 312 \text{ mm}$$

gewählt:
$$l_p = 320 \text{ mm}$$

Breite:
$$b_p \geq b_0 - 2 * t_0$$

$$b_p \geq 150\text{mm} - 2 * 5\text{mm} = 140 \text{ mm}$$

gewählt:
$$b_p = 140 \text{ mm}$$

Stärke:
$$t_p \geq 2 * t_1 \text{ und } 2 * t_2$$

$$t_p \geq 2 * 4\text{mm} = 8 \text{ mm}$$

gewählt:
$$t_p = 8 \text{ mm}$$

Bemessung der Tragfähigkeit mit t_p statt t_0 .

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 * 15^{0,5} * 1,0 * \frac{23,5\text{kN}}{\text{cm}^2} * (0,8\text{cm})^2}{\sin (90^\circ - 12^\circ)} * \frac{\left(\frac{6\text{cm} + 6\text{cm}}{2 * 15\text{cm}} \right)}{1,0}$$

$$N_{1,Rd} = 212,0 \text{ kN}$$

Nachweis:
$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{153,0 \text{ kN}}{212,0 \text{ kN}} = 0,72 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

3. Nachweis des geschweißten Anschlusses der Zugstrebe D1 an den Gurtstab

Da die gleichen Druckspannungen im Gurtstab wirken und die Querschnitte der Streben gleich sind, wird ebenfalls $\gamma = 15$ und $k_n = 1,0$ angesetzt.

Bemessung der Tragfähigkeit mit t_p statt t_0 .

$$N_{2,Rd} = \frac{8,9 * 15^{0,5} * 1,0 * \frac{23,5 \text{ kN}}{\text{cm}^2} * (0,8 \text{ cm})^2}{\sin (32^\circ + 12^\circ)} * \frac{\left(\frac{6 \text{ cm} + 6 \text{ cm}}{2 * 15 \text{ cm}}\right)}{1,0}$$

$$N_{2,Rd} = 298,5 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{N_{2,Ed}}{N_{2,Rd}} = \frac{197,1 \text{ kN}}{298,5 \text{ kN}} = 0,66 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

Jeder weitere Knoten des Fachwerksystems, abgesehen von den Knoten K13 und K 14, wird ebenfalls mit einer Gurtlamelle ausgebildet.

4. Bestimmung der Schweißnahtbemessung

$$a \geq 3 \text{ mm und } a = t_i$$

$$a \geq 3 \text{ mm und } a = 4 \text{ mm}$$

Überprüfung ob eine mögliche Reduzierung der Schweißnahtdicke möglich ist.

$$a_{\text{erf}} = C_i * t_i > 3 \text{ mm}$$

$$C_i = \frac{N_{i,Ed}}{26,1 * A_i}$$

$$C_i = \frac{197,1}{26,1 * 8,79}$$

$$C_i = 0,859$$

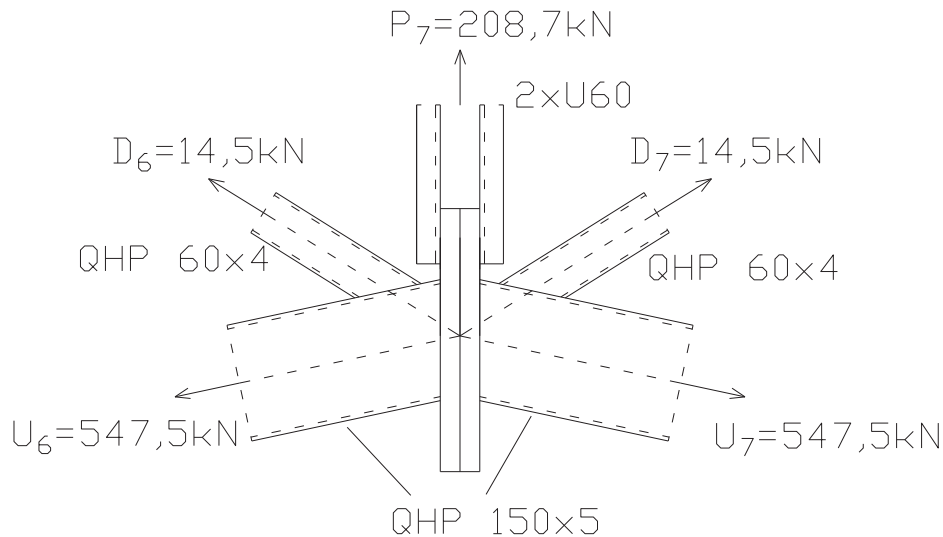
$$a_{\text{erf}} = 0,859 * 4 = 3,44 \text{ mm} > 3 \text{ mm}$$

gewählte Schweißnahtdicke: $a = 4 \text{ mm}$

Die gewählte Schweißnahtdicke von $a = 4 \text{ mm}$ wird an allen Knotenpunkten im Fachwerk ausgeführt.

4.1.7.2 Bemessung des Knotenpunktes K13

Abbildung 4.7 Stirnplattenanschluss Knoten K13 (Vorderansicht)



1. Nachweis des Anschlusses Zugdiagonale D6 an Untergurt U6:

Überprüfung der Gültigkeitsbereiche nach Tabelle 3.24 und 3.29

Nach Tabelle 3.24 Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an RHP- Gurtstäbe

$$\frac{b_i}{b_0} = \frac{60}{150} = 0,4 \geq 0,25$$

Zugstab: $\frac{b_i}{t_i} = \frac{60}{4} = 15 \leq 35$

$$0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} = \frac{60}{60} = 1 \leq 2,0$$

Gurtstab: $0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} = \frac{150}{150} = 1 \leq 2,0$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{150}{5} = 30 \leq 35 \text{ und } \leq \text{QSKL 2} = 38 * \epsilon = 38$$

Nach Tabelle 3.29 Zusätzliche Bedingungen für die Verwendung von Tabelle 3.30

$$\frac{b_1}{b_0} = \frac{60}{150} = 0,4 \leq 0,85$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{150}{5} = 30 \geq 10$$

Da die Grenzbereiche bei diesem Anschluss eingehalten werden und nur ein Füllstab angeschlossen wird, muss nur das Flanschversagen des Gurtstabes untersucht werden. Dies geschieht über die Tabelle 3.30 Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen mit quadratischen Hohlprofilen oder KHP.

Nachweis des geschweißten Anschlusses der Zugdiagonale D6 an den Gurtstab

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n * f_{y0} * t_0^2}{(1 - \beta) * \sin \theta_1} * \left(\frac{2 * \beta}{\sin \theta_1} + 4 * \sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$$

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{60}{150} = 0,4$$

$$k_n = 1,0 \text{ (Zugbeanspruchung im Gurtstab)}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{1,0 * 23,5 \text{ kN/cm}^2 * (0,5 \text{ cm})^2}{(1 - 0,4) * \sin 44^\circ} * \left(\frac{2 * 0,4}{\sin 44^\circ} + 4 * \sqrt{1 - 0,4} \right) / 1,0$$

$$N_{1,Rd} = 59,93 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{14,5 \text{ kN}}{59,93 \text{ kN}} = 0,24 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt.}$$

2. Nachweis des Anschlusses Untergurt an Stirnplatte

Bestimmung der Kraftkomponenten aus U_6 .

$$V_z = \sin 12^\circ * 547,5 \text{ kN} = \underline{113,8 \text{ kN}}$$

$$N = \cos 12^\circ * 547,5 \text{ kN} = \underline{535,5 \text{ kN}}$$

Da der Anschluss mit einer umlaufend geschweißten Kehlnaht erfolgt, müssen zunächst die Schweißnahtabmessungen überprüft werden.

Wirksame Schweißnahtlänge:

$$\begin{aligned}
 L_w = 4 \cdot 150 \text{ mm} = 600 \text{ mm} & \geq 30 \text{ mm} \\
 & \geq 6 \cdot a_w = 6 \cdot 4 = 24 \text{ mm} \\
 & \leq 150 \cdot a_w = 150 \cdot 4 = 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Wirksame Schweißnahtdicke:

$$\begin{aligned}
 a_w = 4 \text{ mm} & \geq 3 \text{ mm} \\
 & \nlessgtr \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{25} - 0,5 = 4,5 \text{ mm} \quad **) \\
 & \leq 0,7 \cdot \min t = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ mm} \quad *)
 \end{aligned}$$

Schweißnahtfläche:

$$A_w = \sum a_w \cdot l_{\text{eff}} = 0,4 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm} = 24,0 \text{ cm}^2$$

*) Aus Konstruktiven Gründen muss der Querschnitt von QHP 150x5 auf **QHP 150x6** vergrößert werden. Da der Querschnitt vergrößert wird, ist sichergestellt dass der neue Querschnitt den vorhandenen Belastungen standhält und die vorangegangenen Berechnungen nicht wiederholt werden müssen.

**) Diese Bedingung gilt nur aus konstruktiven Gründen, um eine eventuelle Gefahr der Entstehung von Versprödungs- und Kaltrissen zu vermeiden. Der rechnerische Nachweis wird mit der 4er Schweißnaht geführt.

Der Nachweis erfolgt mit dem Richtungsbezogenen Verfahren. Dazu müssen diese beiden Bedingungen eingehalten werden:

$$1. \quad [\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{(\beta_w \cdot \gamma_{M2})}$$

$$2. \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\text{zu 1: } \tau_{\parallel} = \frac{V_z}{2 \cdot \frac{l_w}{4} \cdot a_w} = \frac{113,8 \text{ kN}}{2 \cdot 15 \text{ cm} \cdot 0,4 \text{ cm}} = 9,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{N}{A_w} = \frac{535,5 \text{ kN}}{24,0 \text{ cm}^2} = 22,31 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_u = 36 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_w = 0,8 \quad \text{aus Tabelle 3.19 Korrelationsbeiwert } \beta_w \text{ für Kehlnähte}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\left[\left(22,31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)^2 + 3 \cdot \left((0)^2 + \left(9,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)^2 \right) \right]^{0,5} \leq \frac{36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{(0,8 * 1,25)}$$

$$27,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis: $\frac{27,7}{36} = 0,77 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

zu 2: $\sigma_{\perp} = 22,31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 0,9 * \frac{36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25}$

$$22,31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 25,92 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis: $\frac{22,31}{25,92} = 0,86 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

3. Nachweis des Anschlusses Pfosten an Stirnplatte

Die angreifende Kraft P_7 im Anschluss beträgt 208,7 kN.

Da der Anschluss mit einer beidseitig geschweißten Kehlnaht erfolgt, müssen zunächst die Schweißnahtabmessungen überprüft werden.

Wirksame Schweißnahtlänge:

$$\begin{aligned} L_w = 4 * 70 \text{ mm} = 280 \text{ mm} & \geq 30 \text{ mm} \\ & \geq 6 * a_w = 6 * 4 = 24 \text{ mm} \\ & \leq 150 * a_w = 150 * 4 = 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Wirksame Schweißnahtdicke:

$$\begin{aligned} a_w = 4 \text{ mm} & \geq 3 \text{ mm} \\ & \nlessgtr \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{25} - 0,5 = 4,5 \text{ mm} \quad **) \\ & \leq 0,7 * \min t = 0,7 * 6 = 4,2 \text{ mm} \quad *) \end{aligned}$$

Der Nachweis erfolgt ebenfalls mit dem Richtungsbezogenen Verfahren. Dazu müssen diese beiden Bedingungen eingehalten werden:

$$1. \quad [\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{(\beta_w * \gamma_{M2})}$$

$$2. \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 * \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\text{zu 1: } \tau_{\parallel} = \frac{V_z}{I_w * a_w} = \frac{208,7 \text{ kN}}{28,0 \text{ cm} * 0,4 \text{ cm}} = 18,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = 0$$

$$f_u = 36 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_w = 0,8 \quad \text{aus Tabelle 3.19 Korrelationsbeiwert } \beta_w \text{ für Kehlnähte}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\left[(0)^2 + 3 * \left((0)^2 + \left(18,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)^2 \right) \right]^{0,5} \leq \frac{36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{(0,8 * 1,25)}$$

$$32,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{32,2}{36} = 0,89 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

4. Nachweis des Stirnplattenstoßes

Ermittlung der Schraubenabstände nach DIN EN 1993-1-8:2005

gewählte Schrauben:

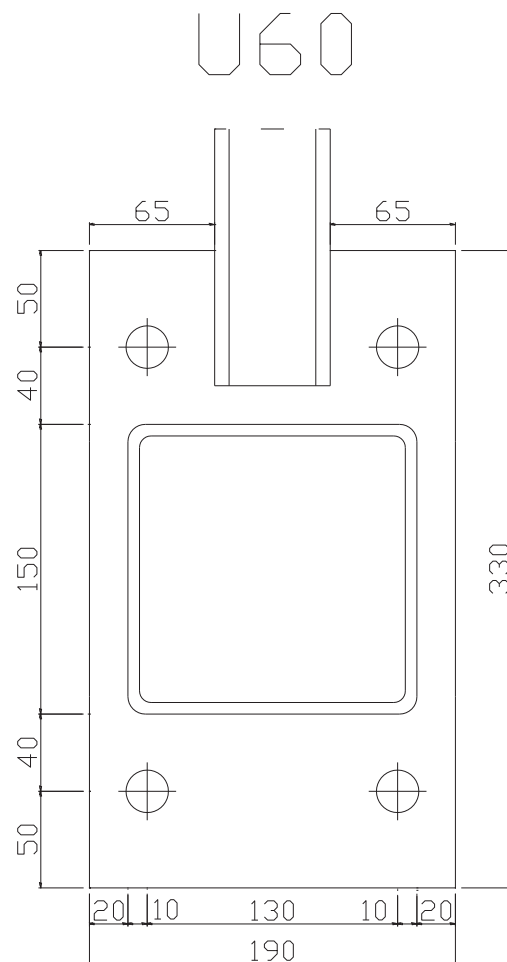
4 x M20, 10.9, nach DIN 6914, Kategorie D der Schraubenverbindung

$$a_2 = \frac{D}{2} + a \cdot \sqrt{2} + 15$$

$$a_2 = \frac{37}{2} + 4 \cdot \sqrt{2} + 15 = 39,2 \approx 40 \text{ mm}$$

$$e_4 = 1,25 \cdot a_2 = 1,25 \cdot 40 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$$

Abbildung 4.8 Stirnplattenanschluss (Seitenansicht)



Schraubennachweis nach DIN EN 1993-1-8:2005

$$N_{Ed} = \cos 12^\circ * 547,5 \text{ kN} = \underline{535,5 \text{ kN}}$$

gewählte Schrauben:

4 x M20, 10.9, nach DIN 6914, Kategorie D der Schraubenverbindung

Ermittlung der aufnehmbaren Schraubenzugkräfte:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

Dabei ist: $k_2 = 0,9$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * 100 \text{ kN/cm}^2 * 2,45 \text{ cm}^2}{1,25} = 176,4 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{F_{t,Ed}}{n * F_{t,Rd}} = \frac{535,5 \text{ kN}}{4 * 176,4 \text{ kN}} = 0,76 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis auf Durchstanzen der Verbindung:

$$B_{p,Rd} = 0,6 * \pi * d_m * t_p * f_u / \gamma_{M2}$$

Dabei ist: $d_m = 37 \text{ mm}$

$$t_p = 25 \text{ mm}$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 * \pi * 3,7 \text{ cm} * 2,5 \text{ cm} * 36,0 \text{ kN/cm}^2}{1,25} = 159,84 \text{ kN}$$

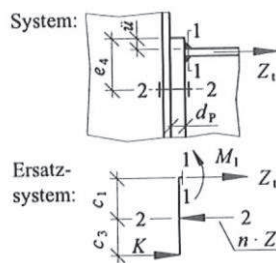
$$\text{Nachweis: } \frac{F_{t,Ed}}{n * B_{p,Rd}} = \frac{535,5 \text{ kN}}{4 * 159,84 \text{ kN}} = 0,84 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Stirnplattennachweis nach DIN 18800 [9]

Der Stirnplattenanschluss unter Zugbelastung wird in diesem Fall nach DIN 18800 geführt, weil in der DIN EN 1993-1-8:2005 keine Angaben, zu solch einem Anschluss in Fachwerken gemacht sind. Demnach ist davon auszugehen, dass keine Änderungen zur DIN 18800 bestehen.

Vor der Bemessung des Anschlusses muss entschieden werden, ob der Anschluss zu den Typen 1 und 2 oder zu den Typen 3 und 4 gehört. Bei diesem Beispiel wird der Anschluss den Typen 1 und 2 zugewiesen. Das ist in diesem Fall sinnvoll, weil das System eher zu diesen Typen passt:

Abbildung 4.9 System und Ersatzsystem der Anschlusstypen 1 und 2



Aus dieser Abbildung wird ersichtlich, dass es sich wie in dem Beispiel nur um **eine** auf Zug beanspruchte Schraubenreihe handelt und der Nachweis daher nach diesem Typ abgehandelt wird.

Profilabmessungen:	QHP 150x6	S235
	B = 150mm	T = t = 6mm
Belastungen:	$N_{Ed} = 535,5 \text{ kN}$	$Q_{Ed} = 0 \text{ kN}$ $M_{Ed} = 0 \text{ kNm}$
Stirnplattenverbindung:	Streckgrenze:	$f_{y,Platte} = 235 \text{ kN/mm}^2$
	Kopfplattendicke:	$d_p = 25 \text{ mm}$
	Kopfplattenbreite:	$b_p = 170 \text{ mm}$
	$e_4 = 50 \text{ mm}$	$a_2 = 40 \text{ mm}$
	$w_1 = 75 \text{ mm}$	$\ddot{u} = 10 \text{ mm}$
	gewählte Schrauben:	4 x M20 10.9
	$d_L = 22 \text{ mm}$	$D = 37 \text{ mm}$ $n = 2$
	$N_{Rd} = 178 \text{ kN}$	$Q_{Rd} = 157 \text{ kN}$

$$c_1 = e_4 - \ddot{u} - t - \left(\frac{D}{4} + \frac{d_p}{2} \right) > 0$$

$$c_1 = 50\text{mm} - 10\text{mm} - 6\text{mm} - \left(\frac{37\text{mm}}{4} + \frac{25\text{mm}}{2} \right) = 12,25\text{ mm} > 0$$

$$c_3 = \frac{D}{2} + d_p = \frac{37\text{mm}}{2} + 25\text{mm} = 43,5\text{ mm}$$

Vorwerte:

$$M_{1,pl,d} = 1,1 * \sigma_{Rd} * b * \frac{t^2}{4} = 1,1 * \left(\frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} \right) * 15\text{cm} * \frac{(0,6\text{cm})^2}{4} = 31,73\text{ kNcm}$$

$$Z_{pl,d} = b * t * \sigma_{Rd} = 15\text{cm} * 0,6\text{cm} * \left(\frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} \right) = 192,3\text{ kN}$$

$$M_{2,pl,d} = 1,1 * \sigma_{Rd} * [(b_p - n * d_L) * d_p^2] / 4$$

$$M_{2,pl,d} = 1,1 * \left(\frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} \right) * [(17\text{cm} - 2 * 2,2\text{cm}) * (2,5\text{cm})^2] / 4$$

$$M_{2,pl,d} = 462,66\text{ kNcm}$$

Versagenszustand 1: Die Schrauben versagen und der Zugflansch ist im Schnitt 1-1 durchplastiziert ($Z_{t1} \geq Z_{pl,d}$).

$$Z_{t,1} = c_3 / (c_3 + c_1) * n * N_{Rd}$$

$$Z_{t,1} = 4,35\text{cm} / (4,35\text{cm} + 1,225\text{cm}) * 2 * 178\text{kN}$$

$$Z_{t,1} = 277,8\text{ kN}$$

$$Z_{t,1} = 277,8\text{ kN} \geq Z_{pl,d} = 192,3\text{ kN}$$

Für $0 \leq c_1 * Z_{t1} \leq M_{2,pl,d}$ gilt: $Z_t = Z_{t1}$

$$0 \leq 1,225\text{cm} * 277,8\text{ kN} = 340,3\text{ kN} \leq M_{2,pl,d} = 462,66\text{ kNcm}$$

$$Z_t = 277,8\text{ kN}$$

Versagenszustand 2: Der Zugflansch ist im Schnitt 1-1 und die Stirnplatte im Schnitt 2-2 durchplastiziert.

$$Z_{t,2} = M_{2,pl,d} / c_1 \leq n * N_{Rd} - M_{2,pl,d} / c_3$$

$$Z_{t,2} = 462,66 \text{ kNcm} / 1,225 \text{ cm} \leq 2 * 178 \text{ kN} - 462,66 \text{ kNcm} / 4,35 \text{ cm}$$

$$Z_{t,2} = 377,7 \text{ kN} \nless 249,6 \text{ kN}$$

=> Z_{t2} nicht maßgebend!

Versagenszustand 3: Die Schrauben versagen, und der Zugflansch ist im Schnitt 1-1 durchplastiziert ($Z_{t3} < Z_{pl,d}$).

$$Z_{t3} = \frac{Z_{pl,d}^2}{2 * M_{1,pl,d}} \left[- (c_1 + c_3) + \sqrt{(c_1 + c_3)^2 + \frac{4 * M_{1,pl,d}}{Z_{pl,d}^2} * (M_{1,pl,d} + n * N_{Rd} * c_3)} \right]$$

$$Z_{t3} = \frac{192,3^2}{2 * 31,73} \left[- (1,225 + 4,35) + \sqrt{(1,225 + 4,35)^2 + \frac{4 * 31,73}{192,3^2} * (31,73 + 2 * 178 * 4,35)} \right]$$

$$Z_{t3} = 272,1 \text{ kN}$$

$$Z_{t3} = 272,1 \text{ kN} \nless Z_{pl,d} = 192,3 \text{ kN}$$

=> Z_{t3} nicht maßgebend!

Versagenszustand 4: Der Zugflansch ist im Schnitt 1-1 und die Stirnplatte im Schnitt 2-2 durchplastiziert.

$$Z_{t4} = \frac{Z_{pl,d}^2}{2 * M_{1,pl,d}} \left[- c_1 + \sqrt{c_1^2 + \frac{4 * M_{1,pl,d} * (M_{1,pl,d} + M_{2,pl,d})}{Z_{pl,d}^2}} \right]$$

$$Z_{t4} = \frac{192,3^2}{2 * 31,73} \left[- 1,225 + \sqrt{1,225^2 + \frac{4 * 31,73 * (31,73 + 462,66)}{192,3^2}} \right]$$

$$Z_{t4} = 328,1 \text{ kN}$$

$$\text{Für } Z_{t4} \leq n * N_{Rd} \text{ gilt: } Z_t = Z_{t4}$$

$$Z_{t4} = 328,1 \text{ kN} \leq 2 * 178 \text{ kN} = 356 \text{ kN}$$

$$Z_t = 356 \text{ kN}$$

Versagenszustand 5: Anschlussmoment im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

$$Z_t = b_p * d_p * \tau_{Rd}$$

$$Z_t = 17 \text{ cm} * 2,5 \text{ cm} * \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} * 1,1}$$

$$Z_t = 524,2 \text{ kN}$$

Die maßgebende Grenzzugkraft ergibt sich somit aus dem Versagenszustand 1 mit $Z_t = 277,8 \text{ kN}$.

$$\text{Nachweis: } \frac{N_{Ed}}{2 * Z_t} = \frac{535,5 \text{ kN}}{2 * 277,8 \text{ kN}} = 0,96 < 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Bestimmung der Z-Güte nach DIN EN 1993-1-1 und nach DIN EN 1993-1-10








Die Z-Güte muss so festgelegt werden, dass die Terrassenbruchgefahr ausgeschlossen ist. Dies erfolgt mit der Bedingung [8]:

$$Z_{Ed} < Z_{Rd}$$

Dabei ist: Z_{Ed} der erforderliche Z-Wert, der sich aus der Größe der Dehnbeanspruchung des Grundwerkstoffes infolge behinderter Schweißnahtschrumpfungen nach Tabelle 4.2 ergibt

Z_{Rd} der verfügbare Z-Wert des Werkstoffes nach DIN 10164 nach Tabelle 4.3

Tabelle 4.2 Einflüsse auf die Anforderung Z_{Ed}

a)	Schweißnahtdicke, die für die Dehnungsbeanspruchung durch Schweißschumpfung verantwortlich ist	Effektive Schweißnahtdicke a_{eff} , siehe Bild 3.2 $\hat{=}$ Nahtdicke bei Kehlnähten		Z_i
		$a_{\text{eff}} \leq 17 \text{ mm}$	$a = 5 \text{ mm}$	$Z_a = 0$
		$17 < a_{\text{eff}} \leq 10 \text{ mm}$	$a = 7 \text{ mm}$	$Z_a = 3$
		$10 < a_{\text{eff}} \leq 20 \text{ mm}$	$a = 14 \text{ mm}$	$Z_a = 6$
		$20 < a_{\text{eff}} \leq 30 \text{ mm}$	$a = 21 \text{ mm}$	$Z_a = 9$
		$30 < a_{\text{eff}} \leq 40 \text{ mm}$	$a = 28 \text{ mm}$	$Z_a = 12$
		$40 < a_{\text{eff}} \leq 50 \text{ mm}$	$a = 35 \text{ mm}$	$Z_a = 15$
		$50 < a_{\text{eff}}$	$a > 35 \text{ mm}$	$Z_a = 15$
b)	Nahtform und Anordnung der Naht in T-, Kreuz- und Eckverbindungen			$Z_b = -25$
		Eckverbindungen 		$Z_b = -10$
		Einlagige Kehlnähte mit $Z_a = 0$ oder Kehlnähte mit $Z_a > 1$ mit Buttern mit niedrigstem Schweißgut 		$Z_b = -5$
		Mehrlagige Kehlnähte 		$Z_b = 0$
		Voll durchgeschweißte und nicht voll durchgeschweißte Nähte mit geeigneter Schweißfolge, um Schrumpfeffekte zu reduzieren 		$Z_b = 3$
		Voll durchgeschweißte und nicht voll durchgeschweißte Nähte 		$Z_b = 5$
		Eckverbindungen 		$Z_b = 8$
c)	Auswirkung der Werkstoffdicke s auf die lokale Behinderung der Schumpfung	$s \leq 10 \text{ mm}$		$Z_c = 2^a$
		$10 < s \leq 20 \text{ mm}$		$Z_c = 4^a$
		$20 < s \leq 30 \text{ mm}$		$Z_c = 6^a$
		$30 < s \leq 40 \text{ mm}$		$Z_c = 8^a$
		$40 < s \leq 50 \text{ mm}$		$Z_c = 10^a$
		$50 < s \leq 60 \text{ mm}$		$Z_c = 12^a$
		$60 < s \leq 70 \text{ mm}$		$Z_c = 15^a$
		$70 < s$		$Z_c = 15^a$
d)	Auswirkung der großräumigen Behinderung der Schweißschumpfung durch andere Bauteile	Schwache Behinderung:	Freie Schumpfung möglich (z. B. T-Anschlüsse)	$Z_d = 0$
		Mittlere Behinderung:	Freie Schumpfung behindert (z. B. Querschott in Kastenträgern)	$Z_d = 3$
		Starke Behinderung:	Freie Schumpfung verhindert (z. B. Längsrippe in orthotroper Fahrbahnplatte)	$Z_d = 5$
e)	Einfluss der Vorwärmung	Ohne Vorwärmung		$Z_e = 0$
		Vorwärmung $\geq 100^\circ\text{C}$		$Z_e = -8$
^a Darf um 50 % reduziert werden, wenn der Werkstoff in Dickenrichtung vorherrschend statisch und nur durch Druckkräfte belastet wird.				

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e$$

$$Z_{Ed} = 0 + 5 + 6 + 0 + 0 = 11$$

Tabelle 4.3 Stahlgütewahl nach DIN 10164

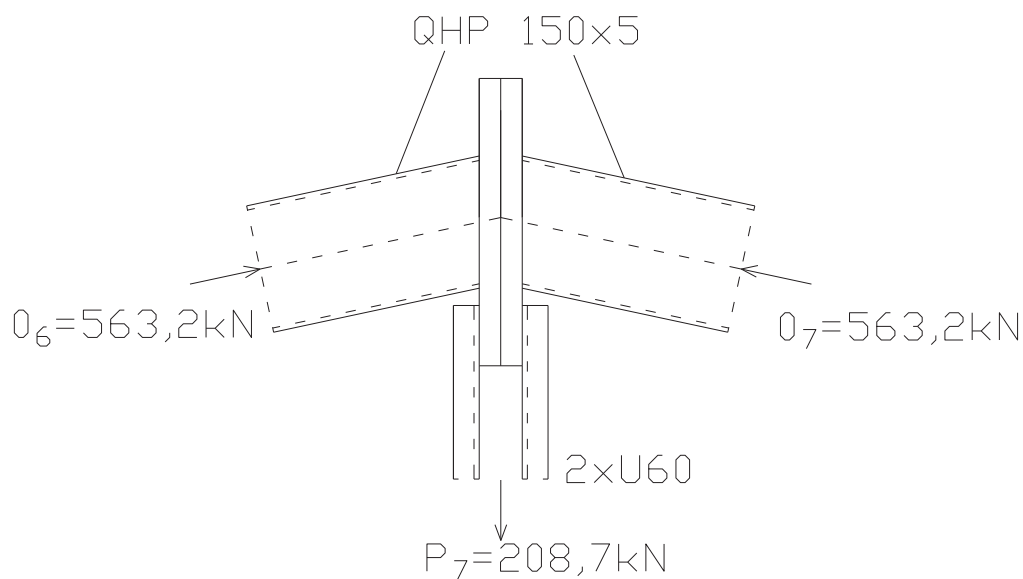
Sollwert von Z_{Ed} nach EN 1993-1-10	Erforderliche Qualität Z_{Rd} nach den Z-Werten nach EN 10164
$Z_{Ed} \leq 10$	—
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25
$Z_{Ed} > 30$	Z 35

Daraus folgt: $Z_{Ed} = 11 < Z_{Rd} = Z 15$

Die Stirnplatte muss somit eine Stahlgüte Z 15 aufweisen.

4.1.7.3 Bemessung des Knotenpunktes K14

Abbildung 4.10 Stirnplattenanschluss Knoten K14 (Vorderansicht)

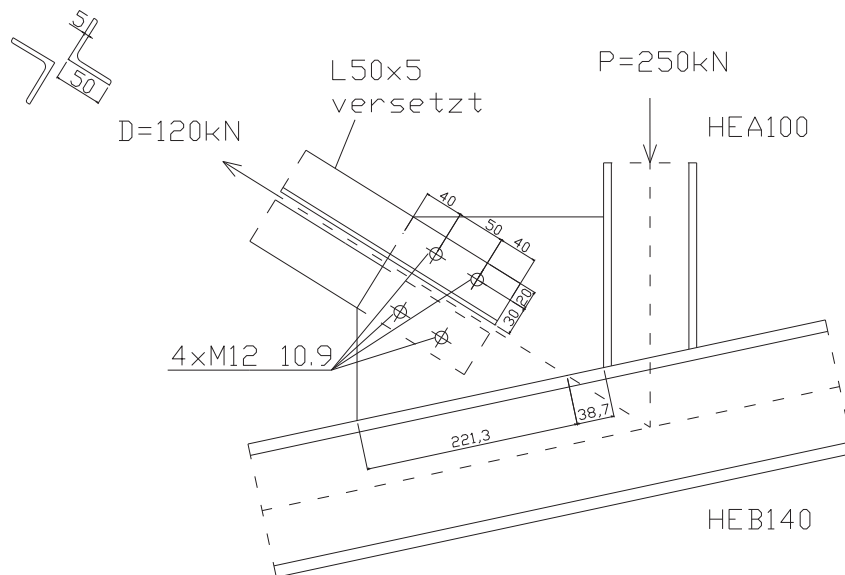


Aus konstruktiven Gründen wird der Knoten K14 mit den gleichen Stirnplatten und Verbindungsmittel ausgebildet wie Knoten K13. Da hierbei Druckkräfte wirken, ist sichergestellt, dass der Knoten den Kräften standhält und daher nicht extra bemessen werden muss.

4.2 Vergleich von geschraubten und geschweißten Anschlüssen unter Druck- und Zugbelastung

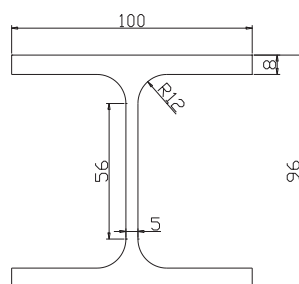
4.2.1 Vollständige Beispielrechnung eines geschraubten Diagonalstabanschlusses unter Zugbelastung am Knotenblech

Abbildung 4.11 Knoten mit geschraubten Diagonalstabanschluss am Knotenblech



1. Klassifizierung der auf Druck beanspruchten Querschnitte (nach Kapitel 3.2)

Druckstab HEA 100, S235



Steg:

$$\text{vorh } \frac{c}{t} \leq 33 \cdot \epsilon$$

$$\text{vorh } \frac{56}{5} = 11,2 \leq 33 \cdot \epsilon = 33$$

=> Querschnittsklasse 1

Flansch: $\text{vorh } \frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$

$$\text{vorh } \frac{(100-2 \cdot 12-5)/2}{8} = 4,4 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9$$

=> Querschnittsklasse 1

2. Nachweis der Zugdiagonale

Querschnittswerte:

└ 50x5, versetzt, S235

$$A = 2 \cdot 4,8 \text{ cm}^2 = 9,6 \text{ cm}^2$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 60 \text{ kN}$ (es wird nur ein Winkel betrachtet)

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

β_2 Abminderungsbeiwert für 2 Schrauben im Stab nach
Tabelle 4.4 Abminderungsbeiwerte β_2 und β_3

A_{net} Nettoquerschnittsfläche des Zugstabes

f_u Nennwert der Zugfestigkeit

γ_{M2} 1,25; Teilsicherheitsbeiwert

Tabelle 4.4 Abminderungsbeiwerte β_2 und β_3 (Zwischenwerte werden linear interpoliert)

Lochabstand	p_1	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
Zwei Schrauben	β_2	0,4	0,7
Drei Schrauben und mehr	β_3	0,5	0,7

$$2,5 \cdot d_0 = 32,5 \leq p_1 = 50 \leq 5,0 \cdot d_0 = 65$$

=> β_2 muss linear interpoliert werden

$$\beta_2 = 0,56$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$A_{\text{net}} = A - t * d_0$$

$$A_{\text{net}} = 4,8 \text{ cm}^2 - 0,5 \text{ cm} * 1,3 \text{ cm} = 4,15 \text{ cm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,56 * 4,15 \text{ cm}^2 * 36 \text{ kN/cm}^2}{1,25} = 66,93 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis: $\frac{60 \text{ kN}}{66,93 \text{ kN}} = 0,90 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

3. Nachweis des Pfosten

Querschnittsnachweis des Pfosten: (nach Kapitel 3.3.2 Querschnittsnachweise)

Querschnittswerte:

HEA 100, S235

$$A = 21,2 \text{ cm}^2$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 250 \text{ kN}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{21,2 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 498,2 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{250 \text{ kN}}{498,2 \text{ kN}} = 0,50 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

Stabilitätsnachweis des Pfosten in Fachwerkebene: (nach Kapitel 3.3.3 Biegeknicken)

Querschnittswerte:

HEA 100, S235

$$A = 21,2 \text{ cm}^2, I_y = 349 \text{ cm}^4, I_z = 134 \text{ cm}^4$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 250 \text{ kN}$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

mit: $\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$

$$\phi = 0,5 * \left[1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

α nach Knickspannungslinie (KSL)

Ermittlung der Knickspannungslinie nach Tabelle 3.6

$$\text{KSL} \Rightarrow b$$

Ermittlung des Imperfektionsbeiwertes α nach Tabelle 3.5

$$\alpha = 0,34$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \frac{l_{cr}}{i} * \frac{1}{\lambda_1}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{l_{cr}^2}$$

$$l_{cr,y} = \beta * l = 0,9 * 2,5 \text{ m}$$

$$l_{cr,y} = 2,25 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * 21000 \text{ kN/cm}^2 * 349 \text{ cm}^4}{(225 \text{ cm})^2} = 1428,8 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{21,2 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1428,8 \text{ kN}}} = 0,59$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,59 - 0,2) + 0,59^2] = 0,74$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,74 + \sqrt{0,74^2 - 0,59^2}} = 0,843$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,843 * 21,2 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 420,0 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{250 \text{ kN}}{420 \text{ kN}} = 0,60 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

Stabilitätsnachweis des Pfosten rechtwinklig zur Fachwerkebene: (nach Kapitel 3.3.3 Biegeknicken)

Querschnittswerte:

HEA 100, S235

$$A = 21,2 \text{ cm}^2, I_y = 349 \text{ cm}^4, I_z = 134 \text{ cm}^4$$

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 250 \text{ kN}$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

mit: $\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

α nach Knickspannungslinie (KSL)

Ermittlung der Knickspannungslinie nach Tabelle 3.6

KSL \Rightarrow c

Ermittlung des Imperfektionsbeiwertes α nach Tabelle 3.5

$$\alpha = 0,49$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{l_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr}^2}$$

$$l_{cr} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 2,5 \text{ m} = 2,5 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 134 \text{ cm}^4}{(250 \text{ cm})^2} = 444,4 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{21,2 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{444,4 \text{ kN}}} = 1,06$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,06 - 0,2) + 1,06^2] = 1,27$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,27 + \sqrt{1,27^2 - 1,06^2}} = 0,508$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,508 \cdot 21,2 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 253,1 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{250 \text{ kN}}{253,1 \text{ kN}} = 0,99 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

4. Nachweis des Schraubenanschlusses Diagonale an Knotenblech

Festlegung der Schraubenabstände nach EN 1993-1-8: 2005

Die Schraubenabstände längs in Kraftrichtung werden nach Tabelle 3.18 Regelabstände für Rand- und Lochabstände festgelegt.

$$p_1 = 3,75 \cdot d_0 = 3,75 \cdot 13 = 48,75 \approx 50 \text{ mm}$$

$$e_1 = 3 \cdot d_0 = 3 \cdot 13 = 39 \approx 40 \text{ mm}$$

Die Schraubenabstände quer zur Kraftrichtung müssen nicht überprüft werden, da die Bohrungen für das Profil $\perp 50 \times 5$ durch die DIN vorgegeben sind.

$$e_2 = 20 \text{ mm}$$

Bestimmung und Nachweis der Grenzscherkraft nach EN 1993-1-8: 2005

gewählte Schrauben:

2 x M12 10.9 je Stab, Schaft in Scherfuge, Kategorie A der Schraubenverbindungen

Nachweisformel:
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd} \cdot n} \leq 1,0$$

Dabei ist: $F_{v,Ed} = 60 \text{ kN}$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$A = 113 \text{ mm}^2$$

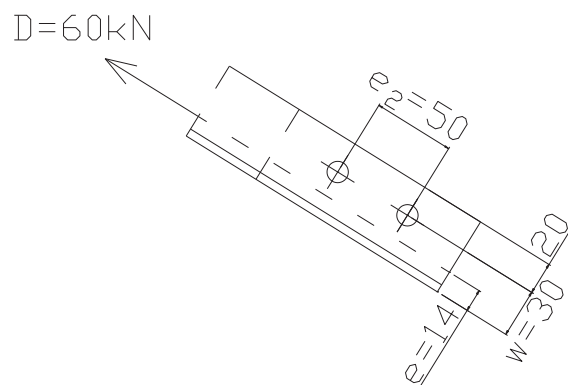
$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 1000 \text{ N/mm}^2 \cdot 113 \text{ mm}^2}{1,25} = 54240 \text{ N} = 54,24 \text{ kN}$$

$$n = 2$$

Nachweis:
$$\frac{60 \text{ kN}}{2 \cdot 54,24 \text{ kN}} = 0,55 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Da die einwirkende Kraft entlang der Systemlinie verläuft und nicht entlang der Schraubenachse, entsteht eine zusätzliche Kraft $F_{\perp,Ed}$, welche in der Berechnung beachtet werden sollte. Aus den Kräften $F_{\perp,Ed}$ und $F_{v,Ed}$ wird die resultierende $F_{R,Ed}$ bestimmt und damit die Bemessung durchgeführt.

Abbildung 4.12 Zugstab zur Ermittlung der resultierenden $F_{R,Ed}$



$$F_{\perp,Ed} = \frac{M}{e_2} = \frac{D * (w - e)}{e_2} = \frac{60 \text{ kN} * (3,0 \text{ cm} - 1,4 \text{ cm})}{5,0 \text{ cm}} = 19,2 \text{ kN}$$

$$F_{R,Ed} = \sqrt{F_{\perp,Ed}^2 + F_{v,Ed}^2} = \sqrt{19,2 \text{ kN}^2 + 60,0 \text{ kN}^2} = 63,0 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{F_{R,Ed}}{F_{v,Rd} * n} = \frac{63,0 \text{ kN}}{2 * 54,24 \text{ kN}} = 0,58 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$

Aus dem Ergebnisvergleich der Nachweise, ergibt sich lediglich eine Mehrbelastung von 3% unter Mitbeachtung von $F_{\perp,Ed}$ in der Berechnung und hat daher keinen großen Einfluss auf die Bemessung. Desweiteren ist es bei dieser Bemessung irrelevant, ob eine Zug- oder Druckbelastung wirkt.

Bestimmung und Nachweis der Grenzlochleibungskraft nach EN 1993-1-8: 2005

Nachweisformel: $\frac{F_{R,Ed}}{F_{b,Rd} * n} \leq 1,0$

Dabei ist: $F_{v,Ed} = 60 \text{ kN} \quad F_{R,Ed} = 63,0 \text{ kN}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

Da es sich in diesem Beispiel nur um eine einreihige Schraubenverbindung handelt, muss k_1 nur für am Rand liegende Schrauben bestimmt werden.

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7}{2,5}, \frac{2,8 * \frac{20}{13} - 1,7}{2,5} \right\} = \left\{ \frac{2,61}{2,5} \right\}$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{1,0}{\frac{f_{ub}}{f_u}}, \frac{1,0}{\frac{1000 \text{ N/mm}^2}{360 \text{ N/mm}^2}}, \frac{1,0}{\alpha_d} \right\} = \left\{ \frac{2,8}{\alpha_d} \right\}$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{40}{3 * 13} = 1,03 \quad (\text{am Rand})$$

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{50}{3 * 13} - \frac{1}{4} = 1,03 \quad (\text{Innen})$$

$$\alpha_b = 1,0$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * 1,0 * 360 \text{ N/mm}^2 * 12\text{mm} * 5\text{mm}}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 43200 \text{ N} = 43,2 \text{ kN}$$

$$n = 2$$

Nachweis: $\frac{F_{R,Ed}}{F_{b,Rd} * n} = \frac{63,0 \text{ kN}}{2 * 43,2 \text{ kN}} = 0,73 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$

5. Nachweis Knotenblech auf Herausreißen der Schraubengruppe durch Blockversagen

Berechnung mit ausschließlicher zentrischer Belastung:

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $N_{Ed} = 60 \text{ kN}$ (Belastung parallel zur Systemlinie ohne $F_{\perp,Ed}$)

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u * A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y * A_{nv}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \quad (\text{zentrische Belastung})$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$A_{nt} = d_0 * t = 13\text{mm} * 10\text{mm} = 130\text{mm}^2$$

$$A_{nv} = 2 * t * (e_1 + p_1) = 2 * 10\text{mm} * (40\text{mm} + 50\text{mm})$$

$$A_{nv} = 1800\text{mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{360\text{N/mm}^2 * 130\text{mm}^2}{1,25} + \frac{235\text{N/mm}^2 * 1800\text{mm}^2}{\sqrt{3} * 1,00}$$

$$V_{eff,1,Rd} = 281659 \text{ N} = 281,7 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{60 \text{ kN}}{281,7 \text{ kN}} = 0,22 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$

Berechnung mit exzentrischer Belastung:

Nachweisformel: $\frac{F_{R,Ed}}{V_{eff,2,Rd}} \leq 1,0$

Dabei ist: $F_{R,Ed} = 63,0 \text{ kN}$ (Belastung parallel zur Systemlinie mit $F_{\perp,Ed}$)

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 * \frac{f_u * A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y * A_{nv}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \quad (\text{exzentrische Belastung})$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$A_{nt} = d_0 * t = 13\text{mm} * 10\text{mm} = 130\text{mm}^2$$

$$A_{nv} = 2 * t * (e_1 + p_1) = 2 * 10\text{mm} * (40\text{mm} + 50\text{mm})$$

$$A_{nv} = 1800\text{mm}^2$$

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 * \frac{360\text{N/mm}^2 * 130\text{mm}^2}{1,25} + \frac{235\text{N/mm}^2 * 1800\text{mm}^2}{\sqrt{3} * 1,00}$$

$$V_{eff,2,Rd} = 262939 \text{ N} = 262,9 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{63,0 \text{ kN}}{262,9 \text{ kN}} = 0,24 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$

6. Nachweis Anschluss Knotenblech an Gurtstab

Bei der Bemessung des Anschlusses ist die Krafrichtung irrelevant.

Das Knotenblech wird mit einer beidseitigen Kehlnaht $a = 3\text{mm}$ an den Gurtstab angeschweißt.

Berechnung der Kraftkomponenten aus D:

$$\uparrow \Sigma N_{Ed,v} = \sin \alpha * D = \sin 44^\circ * 120\text{kN} = 83,3 \text{ kN}$$

$$\rightarrow \Sigma N_{Ed,h} = \cos \alpha * D = \cos 44^\circ * 120\text{kN} = 86,3 \text{ kN}$$

Bestimmung des maximalen Momentes in der Schweißnaht:

$$M_w = N_{Ed,v} * e = N_{Ed,v} * \left(\frac{l_{ges}}{2} - l_1 \right) = 83,3 \text{ kN} * \left(\frac{26,0\text{cm}}{2} - 3,87\text{cm} \right)$$

$$M_w = 760,5\text{kNcm}$$

Bestimmung des Widerstandsmomentes der Schweißnaht:

$$W_w = \frac{2 * a}{6} * l_{ges}^2 = \frac{2 * 0,3\text{cm}}{6} * (26,0\text{cm})^2$$

$$W_w = 67,6 \text{ cm}^3$$

Bestimmung der Normalspannung σ_{\perp} senkrecht zur Schweißnahtachse:

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_w}{W_w} = \frac{760,5 \text{ kNcm}}{67,6 \text{ cm}^3} = 11,25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Bestimmung der Schweißnahtfläche:

$$A_w = 2 * a * l_{ges} = 2 * 0,3 \text{ cm} * 26 \text{ cm} = 15,6 \text{ cm}^2$$

Bestimmung der Schubspannung τ_{\parallel} parallel zur Schweißnahtachse:

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed,h}}{A_w} = \frac{86,3 \text{ kN}}{15,6 \text{ cm}^2} = 5,53 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Die weitere Berechnung des Anschlusses erfolgt nach dem Richtungsbezogenen Verfahren.

Nachweis: 1. $[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{(\beta_w * \gamma_{M2})}$

2. $\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$

Dabei ist: $\sigma_{\perp} = 8,44 \text{ kN/cm}^2$

$\tau_{\parallel} = 4,15 \text{ kN/cm}^2$

$\tau_{\perp} = 0 \text{ kN/cm}^2$

$f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

$\beta_w = 0,8$ aus Tabelle 3.19 Korrelationsbeiwert β_w für Kehlnähte

$\gamma_{M2} = 1,25$

zu 1: $\left[\left(11,25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)^2 + 3 * \left((0)^2 + \left(5,53 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)^2 \right) \right]^{0,5} \leq \frac{36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{(0,8 * 1,25)}$

$14,78 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Nachweis: $\frac{14,78}{36} = 0,41 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

zu 2: $\sigma_{\perp} = 11,25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 0,9 * \frac{36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25}$

$11,25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 25,92 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

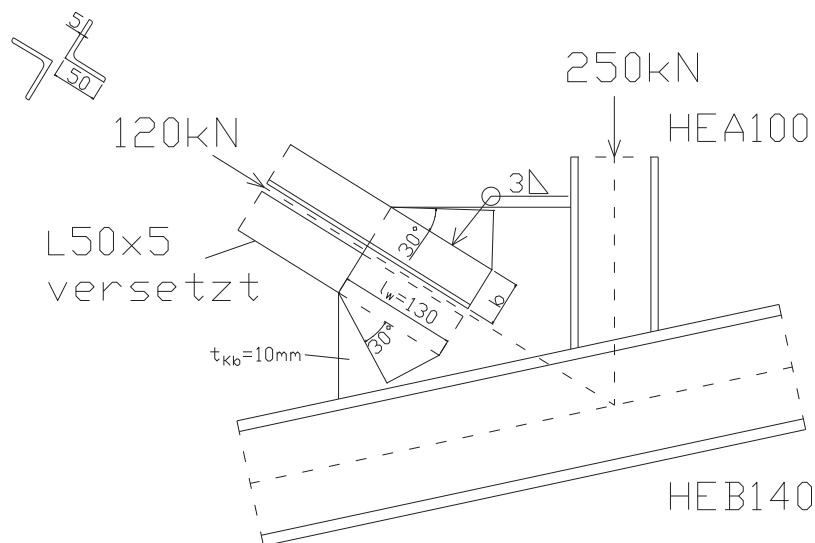
Nachweis: $\frac{11,25}{25,92} = 0,43 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

Bei der Bemessung des Anschlusses Knotenblech an Gurtstab ist es irrelevant ob eine Druck- oder Zugkraft wirkt. Die Auslastung ist in beiden Fällen gleich groß.

4.2.2 Beispielrechnung eines geschweißten Diagonalstabanschlusses unter Druckbelastung am Knotenblech

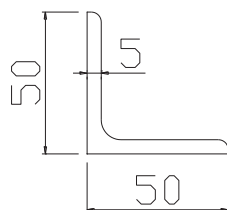
Mit diesem Beispiel soll der Unterschied zwischen Zug- und Druckdiagonale veranschaulicht werden. Dazu werden die gleichen Profile für die Diagonale und die gleiche Kraft verwendet. Es wird lediglich die Zugkraft in eine Druckkraft geändert.

Abbildung 4.13 Knoten mit geschweißten Diagonalstabanschluss am Knotenblech



1. Klassifizierung der auf Druck beanspruchten Querschnitte (nach Kapitel 3.2)

Druckstab L 50x5, S235



$$\text{vorh } \frac{h}{t} \leq 15 * \epsilon \text{ und } \frac{b+h}{2*t} \leq 11,5 * \epsilon$$

$$\text{vorh } \frac{50}{5} = 10,0 \leq 15 * \epsilon = 15 \text{ und } \frac{50+50}{2*5} = 10 \leq 11,5 * \epsilon = 11,5$$

=> Querschnittsklasse 3

2. Stabilitätsnachweis der Druckdiagonale rechtwinklig zur Fachwerkebene: (nach Kapitel 3.3.3 Biegeknicken)

Querschnittswerte:

Druckstab \perp 50x5, S235

$$A = 2 * 4,8\text{cm}^2 = 9,6\text{cm}^2, I = 11,0 \text{ cm}^4$$

Nachweisformel:
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

Dabei ist: $N_{Ed} = 60 \text{ kN}$ (je Diagonalstab)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

mit:
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\phi = 0,5 * \left[1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

α nach Knickspannungslinie (KSL)

Ermittlung der Knickspannungslinie nach Tabelle 3.6

KSL \Rightarrow c

Ermittlung des Imperfektionsbeiwertes α nach Tabelle 3.5

$$\alpha = 0,49$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{l_{cr}^2}$$

$$l_{cr} = \beta * l = 1,0 * 3,0\text{m} = 3,0 \text{ m}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * 21000\text{kN/cm}^2 * 11,0 \text{ cm}^4}{(300 \text{ cm})^2} = 25,3 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{4,8 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{25,3 \text{ kN}}} = 2,11$$

$$\phi = 0,5 * [1 + 0,49 * (2,11 - 0,2) + 2,11^2] = 3,19$$

$$\chi = \frac{1}{3,19 + \sqrt{3,19^2 - 2,11^2}} = 0,18$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,18 * 4,8 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 20,3 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{60 \text{ kN}}{20,3 \text{ kN}} = 2,96 \not\leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt.}$

Mit diesem Ergebnis wird deutlich, dass im Vergleich zu einer Zugdiagonale aus Kapitel 4.2.1 eine Druckdiagonale um ca. das 3,3 fache weniger belastet werden kann.

3. Nachweis Schweißnaht Diagonale an Knotenblech

Die Bemessung der Schweißnaht erfolgt hierbei nach dem Vereinfachtem Verfahren.

Nachweis: $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$

Dabei ist: $F_{w,Ed} = \sqrt{N_{\perp,Ed}^2 + V_{\perp,Ed}^2 + V_{\parallel,Ed}^2}$

$$V_{\parallel,Ed} = \frac{N}{l_w} = \frac{60 \text{ kN}}{2 * 13,0 \text{ cm}} = 2,31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{0^2 + 0^2 + \left(2,31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}\right)^2}$$

$$F_{w,Ed} = 2,31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} * a$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}}$$

$$f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_w = 0,8 \quad \text{aus Tabelle 3.19 Korrelationsbeiwert } \beta_w \text{ für Kehlnähte}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$f_{vw,d} = \frac{36,0 \text{ kN/cm}^2}{0,8 * 1,25 * \sqrt{3}} = 20,78 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{w,Rd} = 20,78 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 0,3 \text{ cm} = 6,23 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

Nachweis: $F_{w,Ed} = 2,31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \leq F_{w,Rd} = 6,23 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$

$$\frac{2,31}{6,23} = 0,37 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

4. Nachweis Knotenblech auf Herausreißen entlang der Risslinie

Nachweisformel: $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$ bei Druckbeanspruchung

Dabei ist: $N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$

$$A = t_{Kb} * l_{Riss}$$

$$t_{Kb} = 10\text{mm}$$

$$l_{Riss} = 2 * l_w * \sin 30^\circ + b$$

$$l_{Riss} = 2 * 130\text{mm} * \sin 30^\circ + 50\text{mm}$$

$$l_{Riss} = 180\text{mm}$$

$$A = 10\text{mm} * 180\text{mm} = 1800 \text{ mm}^2 = 18,0 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{18,0\text{cm}^2 * 23,5\text{kN/cm}^2}{1,0} = 423,0 \text{ kN}$$

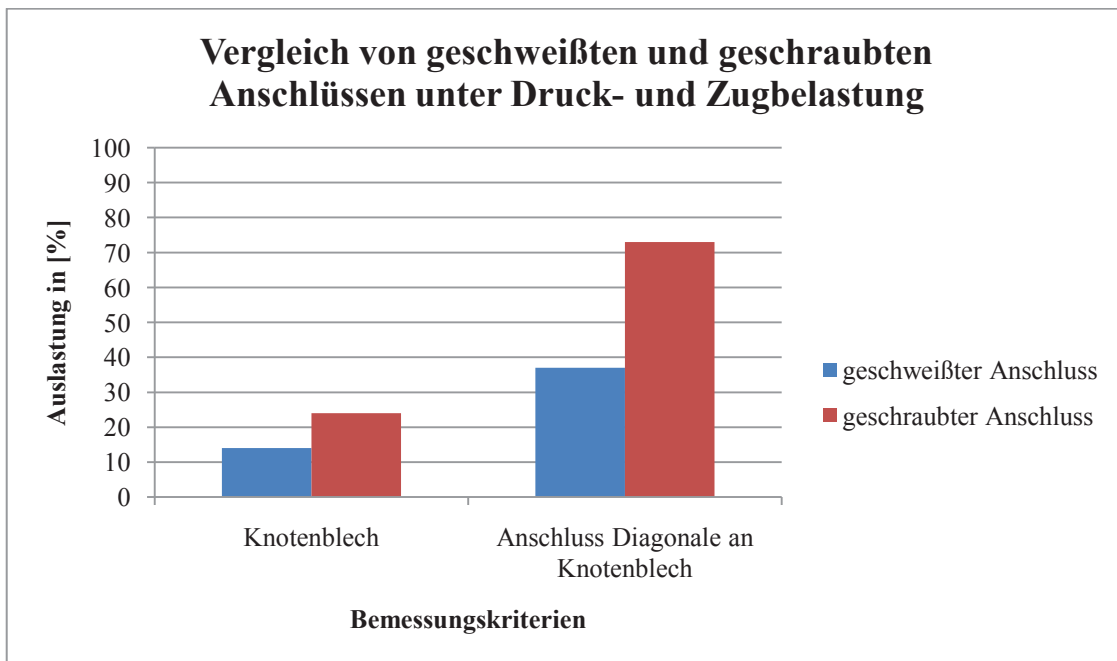
Nachweis:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{60,0 \text{ kN}}{423,0 \text{ kN}} = 0,14 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

4.2.3 Auswertung und Vergleich der geschweißten und geschraubten Anschlüsse

In diesem Diagramm werden die Ergebnisse, aus den vorangegangenen Beispielen, aus Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 ausgewertet und verglichen. Die dargestellten Bemessungskriterien sind unabhängig von der Krafrichtung.

Diagramm 4.1 Vergleich von geschweißten und geschraubten Anschlüssen unter Druck- und Zugbelastung

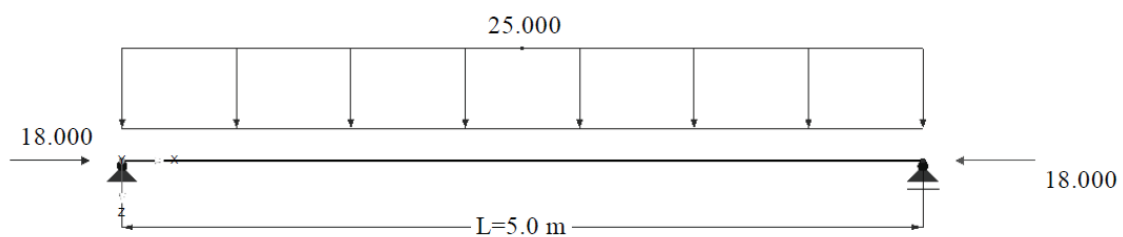


Aus diesem Diagramm wird ersichtlich, dass geschweißte Verbindungen weniger ausgelastet sind als geschraubte Anschlüsse. Außerdem erkennt man, dass das Bemessungskriterium, Anschluss Diagonale an Knotenblech, maßgebend ist. Das Knotenblech wird hierbei, bei geschraubten Verbindungen auf Blockversagen der Schraubengruppe und beim geschweißten Anschluss auf Herausreißen entlang der Risslinie untersucht. Dabei erhält es eine Belastung von 24% bei geschraubten und 14% bei geschweißten Verbindungen. Dies bedeutet eine Mehrbelastung von 10% bei geschraubten Anschlüssen. Beim Anschluss der Diagonale an das Knotenblech ist bei geschraubten Verbindungen die Grenzlochleibungskraft, mit 73% Auslastung, maßgebend. Der geschweißte Anschluss ist hingegen bei einer 3er- Schweißnaht mit 37% jedoch nur halb so stark ausgelastet. Aus diesen Erkenntnissen wird deutlich, dass eine geschweißte Verbindung besser ist als eine Geschraubte.

4.3 Beispielrechnung eines Trägers unter einachsiger Biegung mit Normalkraft

In diesem Beispiel soll eine Pfette zwischen zwei Dachbindern mit einem Abstand von 5,0 m bemessen werden. Dabei ist die Pfette gelenkig gelagert und gegen seitliches Ausweichen gesichert. Der Träger besteht hierbei aus einem IPE 300 und der Stahlsorte S 235J0. Es wirkt eine Streckenlast von $q = 25,0 \text{ kN/m}$ und eine Normalkraft von $N = 18,0 \text{ kN}$.

Abbildung 4.14 Trägersystem mit einwirkenden Lasten



1. Querschnittswerte:

$$\begin{aligned}
 h &= 300 \text{ mm}; & b &= 150 \text{ mm}; & s &= 7,1 \text{ mm}; \\
 t &= 10,7 \text{ mm}; & r &= 15 \text{ mm}; & h_1 &= 248,6 \text{ mm}; \\
 A &= 53,8 \text{ cm}^2; \\
 I_y &= 8360 \text{ cm}^4; & W_y &= 557 \text{ cm}^3; & I_z &= 604 \text{ cm}^4; & W_z &= 80,5 \text{ cm}^3; \\
 S_y &= 314 \text{ cm}^3; & I_{\omega} &= 125900 \text{ cm}^6; & I_T &= 20,1 \text{ cm}^4;
 \end{aligned}$$

2. Materialkennwerte (S235J0):

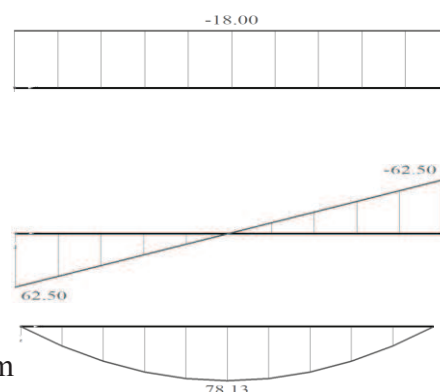
$$E = 210000 \text{ N/mm}^2; \quad G = 81000 \text{ N/mm}^2; \quad f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

3. Ermittlung der Schnittgrößen:

$$N = 18,0 \text{ kN}$$

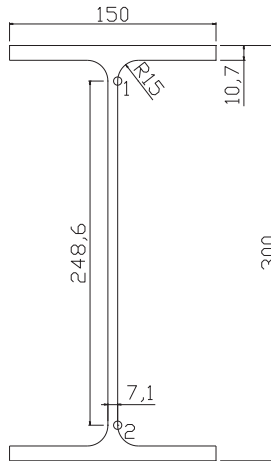
$$\max V_z = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{25 \text{ kN/m} \cdot 5,0 \text{ m}}{2} = 62,5 \text{ kN}$$

$$\max M_y = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{25 \text{ kN/m} \cdot (5,0 \text{ m})^2}{8} = 78,13 \text{ kNm}$$



4. Klassifizierung des Querschnittes (nach Kapitel 3.2 Ermittlung der Querschnittsklassen Tabellen 3.2 und 3.3):

Druckstab IPE 300, S235



Steg:

(auf Druck und Biegung)

$$\text{für } \alpha > 0,5: \text{ vorh } c/t \leq \frac{396 \varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\text{für } \alpha \leq 0,5: \text{ vorh } c/t \leq \frac{36 \varepsilon}{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{\frac{h_1 * |\sigma_1|}{(|\sigma_1| + \sigma_2)}}{h_1}$$

$$\sigma_1 = \left(-\frac{N}{A} \right) + \left(-\frac{M}{I_y} * \frac{h_1}{2} \right)$$

$$\sigma_1 = \left(-\frac{18,0 \text{ kN}}{53,8 \text{ cm}^2} \right) + \left(-\frac{7813 \text{ kNcm}^2}{8360 \text{ cm}^4} * \frac{248,6 \text{ cm}}{2} \right) = -11,96 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_2 = \left(-\frac{N}{A} \right) + \left(\frac{M}{I_y} * \frac{h_1}{2} \right)$$

$$\sigma_2 = \left(-\frac{18,0 \text{ kN}}{53,8 \text{ cm}^2} \right) + \left(\frac{7813 \text{ kNcm}^2}{8360 \text{ cm}^4} * \frac{248,6 \text{ cm}}{2} \right) = 11,28 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\alpha = \frac{\frac{248,6 * |11,96|}{(|11,96| + 11,28)}}{248,6} = 0,51 > 0,5$$

$$\text{vorh } \frac{248,6 \text{ mm}}{7,1 \text{ mm}} = 35,0 \leq \frac{396 * 1}{13 * 0,51 - 1} = 70,3$$

=> Querschnittsklasse 1

Flansch (auf Druck): $\text{vorh } \frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$

$$\text{vorh } \frac{(150-2 \cdot 15-7,1)/2}{10,7} = 5,3 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9$$

=> Querschnittsklasse 1

Das gewählte Profil IPE 300, entspricht unter der vorhandenen Belastung, der Querschnittsklasse 1 und wird auch danach bemessen. Die Bemessung erfolgt nach Kapitel 3.3.4 Ein- bzw. Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft.

5. Nachweisführung:

Nachweisformeln:

$$1. \quad \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$2. \quad \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

Dabei ist:

$$N_{Ed} = 18,0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 78,13 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed}, \Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

$$N_{Rk} = f_y \cdot A_i = 23,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 53,8 \text{ cm}^2 = 1264,3 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 628 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,Rk} = 14758 \text{ kNcm} = 147,58 \text{ kNm}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

mit:

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

α nach Knickspannungslinie (KSL)

Ermittlung der Knickspannungslinie nach Tabelle 3.6

KSL => a

Ermittlung des Imperfektionsbeiwertes α nach Tabelle 3.5

$$\alpha = 0,21$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A^* f_y}{N_{cr}}} = \frac{l_{cr}}{i} * \frac{1}{\lambda_1}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{l_{cr}^2}$$

$$l_{cr} = \beta * l = 1,0 * 5,0 \text{ m} = 5,0 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * 21000 \text{ kN/cm}^2 * 8360 \text{ cm}^4}{(500 \text{ cm})^2} = 6930,8 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{53,8 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{6930,8 \text{ kN}}} = 0,427$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + 0,21 * (0,427 - 0,2) + 0,427^2] = 0,615$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,615 + \sqrt{0,615^2 - 0,427^2}} = 0,946$$

Dabei ist:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

mit:

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

α nach Knickspannungslinie (KSL)

Ermittlung der Knickspannungslinie nach Tabelle 3.6

KSL => b

Ermittlung des Imperfektionsbeiwertes α nach Tabelle 3.5

$$\alpha = 0,34$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A^* f_y}{N_{cr}}} = \frac{l_{cr}}{i} * \frac{1}{\lambda_1}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{l_{cr}^2}$$

$$l_{cr} = \beta * l = 1,0 * 5,0 \text{ m} = 5,0 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * 21000 \text{ kN/cm}^2 * 604 \text{ cm}^4}{(500 \text{ cm})^2} = 500,7 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{53,8 \text{ cm}^2 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{500,7 \text{ kN}}} = 1,589$$

$$\phi_z = 0,5 * [1 + 0,34 * (1,589 - 0,2) + 1,589^2] = 1,999$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,999 + \sqrt{1,999^2 - 1,589^2}} = 0,311$$

Dabei ist: $\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{\eta} \begin{cases} \leq 1,0 \\ \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$

mit: $\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2 * \beta}} \begin{cases} \leq 1,0 \\ \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\beta = 0,75$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

α_{LT} nach Knickspannungslinie (KSL)

Ermittlung der Knickspannungslinie nach Tabelle 3.8

$$\text{KSL} \Rightarrow b$$

Ermittlung des Imperfektionsbeiwertes α nach Tabelle 3.7

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}}$$

$$W_{pl,y} = 2 * S_y = 2 * 314 \text{ cm}^3 = 628 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = \zeta * N_{cr,z} * (\sqrt{c^2 + 0,25 * z_p^2} + 0,5 * z_p)$$

$$\zeta = 1,12 \quad (\text{nach Tabelle 3.9})$$

$$N_{cr,z} = 500,7 \text{ kN}$$

$$c^2 = \frac{I_\omega + 0,039 * I^2 * I_T}{I_z} = \frac{125900 \text{ cm}^6 + 0,039 * (500 \text{ cm})^2 * 20,1 \text{ cm}^4}{604 \text{ cm}^4}$$

$$c^2 = 532,9$$

$$z_p = -15 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = 1,12 * 500,7 * \left(\sqrt{532,9 + 0,25 * (-15)^2} + 0,5 * (-15) \right)$$

$$M_{cr} = 9405 \text{ kNcm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{628 \text{ cm}^3 * 23,5 \text{ kN/cm}^2}{9405 \text{ kNcm}}} = 1,253$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * [1 + 0,34(1,253 - 0,4) + 0,75 * 1,253^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,234$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,234 + \sqrt{1,234^2 - 1,253^2 * 0,75}} = 0,549 \quad \left\{ \begin{array}{l} \leq 1,0 \\ \leq \frac{1}{1,253^2} = 1,57 \end{array} \right.$$

$$f = 1 - 0,5 * (1 - k_c) * [1 - 2,0 * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] \leq 1,0$$

$$k_c = 0,94 \quad (\text{nach Tabelle 3.10})$$

$$f = 1 - 0,5 * (1 - 0,94) * [1 - 2,0 * (1,253 - 0,8)^2] \leq 1,0$$

$$f = 0,982 \leq 1,0$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{0,549}{0,982} = 0,559 \quad \left\{ \begin{array}{l} \leq 1,0 \\ \leq \frac{1}{1,253^2} = 0,637 \end{array} \right.$$

Da es sich bei einem IPE 300 um ein offenes Profil handelt ist davon auszugehen, dass es ein verdrehweiches Bauteil ist. Demnach werden die Interaktionsbeiwerte k_{yy} und k_{zy} nach Tabelle 3.13 und die äquivalenten Momentenbeiwerte C_m nach Tabelle 3.14 ermittelt.

Berechnung der äquivalenten Momentenbeiwerte C_m nach Tabelle 3.14. Aus dem vorhanden parabelförmigen Momentenverlaufes für M_y ergibt sich:

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \alpha_h$$

Dabei ist: $\alpha_h = M_h / M_s = 0 \text{ kNm} / 78,13 \text{ kNm} = 0$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 * 0 = 0,95$$

Berechnung der Interaktionsbeiwerte k_{yy} und k_{zy} nach Tabelle 3.13

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + (0,427 - 0,2) \frac{18,0 \text{ kN}}{0,946 * 1264,3 \text{ kN} / 1,0} \right) \leq 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{18,0 \text{ kN}}{0,946 * 1264,3 \text{ kN} / 1,0} \right)$$

$$k_{yy} = 0,953 \leq 0,961$$

$$k_{yy} = 0,953$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 * 1,589}{(0,95 - 0,25)} * \frac{18,0 \text{ kN}}{0,311 * 1264,3 \text{ kN} / 1,0} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} * \frac{18,0 \text{ kN}}{0,311 * 1264,3 \text{ kN} / 1,0} \right]$$

$$k_{zy} = 0,990 \geq 0,993$$

$$k_{zy} = 0,993$$

Nachweis: 1. $\frac{\frac{18,0 \text{ kN}}{0,946 * 1264,3 \text{ kN}}}{1,0} + 0,953 * \frac{78,13 \text{ kNm} + 0 \text{ kNm}}{0,559 * \frac{147,58 \text{ kNm}}{1,0}} + 0 \leq 1,0$

$$0,015 + 0,903 + 0 \leq 1,0$$

$$0,918 \leq 1,0$$

=> Nachweis erfüllt.

2. $\frac{\frac{18,0 \text{ kN}}{0,311 * 1264,3 \text{ kN}}}{1,0} + 0,993 * \frac{78,13 \text{ kNm} + 0 \text{ kNm}}{0,559 * \frac{147,58 \text{ kNm}}{1,0}} + 0 \leq 1,0$

$$0,046 + 0,940 + 0 \leq 1,0$$

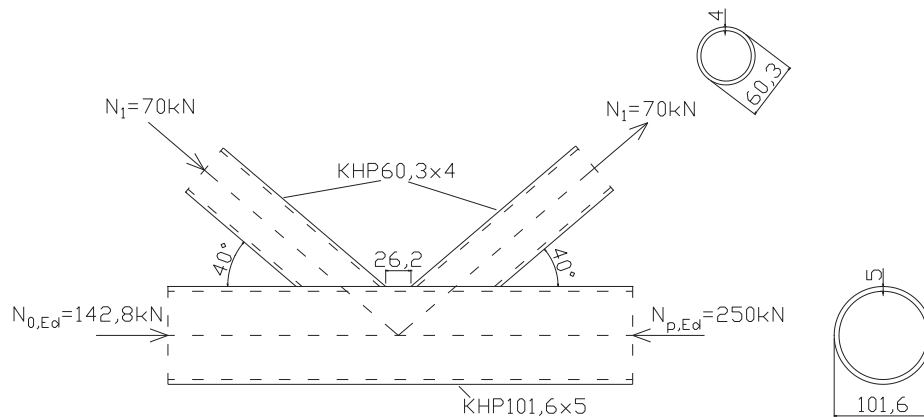
$$0,986 \leq 1,0$$

=> Nachweis erfüllt.

4.4 Beispielrechnungen von verschiedenen Fachwerkknoten aus Hohlprofilquerschnitten

4.4.1 Beispielrechnung eines Fachwerkknotens aus Kreishohlprofilen

Abbildung 4.15 Fachwerkknoten aus Kreishohlprofilen (Beispielrechnung)



1. Überprüfung des Grenzbereiches nach Tabelle 3.20

$$0,2 \leq \frac{d_1}{d_0} = \frac{60,3}{101,6} = 0,59 \leq 1,0$$

Zugstab=Druckstab: $10 \leq \frac{d_1}{t_1} = \frac{60,3}{4} = 15,1 \leq 50$ und $\leq \text{QSKL 2} = 50 * \epsilon^2 = 50$

Gurtstab: $10 \leq \frac{d_0}{t_0} = \frac{101,6}{5} = 20,3 \leq 50$ und $\leq \text{QSKL 2} = 50 * \epsilon^2 = 50$

Spaltweite: $g \geq t_1 + t_2$

$$g = 26,2 \text{ mm} \geq 4 \text{ mm} + 4 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$$

Da die Grenzwerte aus der Tabelle 3.20 eingehalten werden, muss nur Flanschversagen des Gurtstabes und Durchstanzen untersucht werden.

2. Nachweis des Gurtstabes gegen Flanschversagen nach Tabelle 3.21

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g * k_p * f_{y0} * t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} * N_{1,Rd}$$

Dabei ist: $k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 * \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5g/t_0 - 1,33)} \right)$

mit: $\gamma = \frac{d_0}{2 * t_0} = \frac{101,6\text{mm}}{2 * 5\text{mm}} = 10,16 \text{ mm}$

$$k_g = 10,16^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 * 10,16^{1,2}}{1 + \exp(0,5 * 26,2/5 - 1,33)} \right) = 1,72$$

$$k_p = 1 - 0,3 * n_p * (1 + n_p) \leq 1,0$$

mit: $n_p = \left(\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}} \right) / \gamma_{M5}$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A} = \frac{250\text{kN}}{15,2\text{cm}^2} = 16,45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$n_p = \left(\frac{16,45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \right) / 1,0 = 0,7$$

$$k_p = 1 - 0,3 * 0,7 * (1 + 0,7) = 0,643 \leq 1,0$$

Nachweis: $N_{1,Rd} = \frac{1,72 * 0,643 * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * (0,5\text{cm})^2}{\sin 40^\circ} \left(1,8 + 10,2 \frac{60,3\text{mm}}{101,6\text{mm}} \right) / 1,0$

$$N_{1,Rd} = 79,29 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin 40^\circ}{\sin 40^\circ} * 79,29 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = 79,29 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{N_{1,Ed}}{N_{2,Rd}} = \frac{70 \text{ kN}}{79,29 \text{ kN}} = 0,88 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

3. Nachweis auf Durchstanzen der Wandung des Gurtprofils nach Tabelle 3.21

Überprüfung ob der Nachweis notwendig ist, mit:

$$d_1 < d_0 - 2 t_0$$

$$60,3\text{mm} < 101,6\text{mm} - 10\text{mm} = 91,6 \text{ mm}$$

=> Nachweis muss geführt werden

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} * t_0 * \pi * d_1 * \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \sin^2 \theta_2} / \gamma_{M5}$$

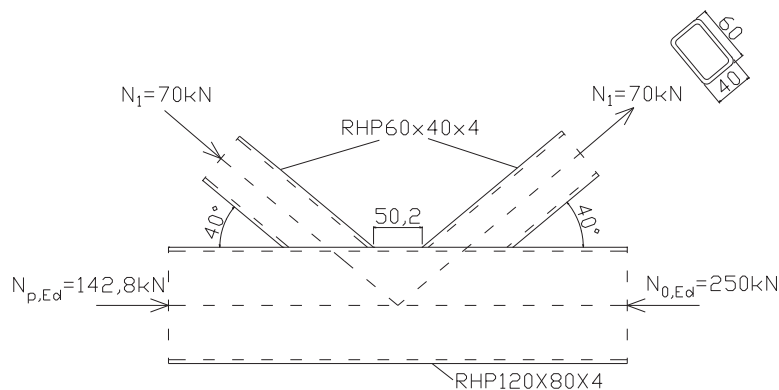
$$N_{1,Rd} = \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3}} * 0,5 \text{cm} * \pi * 6,03 \text{cm} * \frac{1 + \sin 40^\circ}{2 * \sin^2 40^\circ} / 1,0$$

$$N_{1,Rd} = 255,62 \text{ kN}$$

Nachweis: $\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{70 \text{ kN}}{255,62 \text{ kN}} = 0,27 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$

4.4.2 Beispielrechnung eines Fachwerkknotens aus Rechteckhohlprofilen

Abbildung 4.16 Fachwerkknoten aus Rechteckhohlprofilen (Beispielrechnung)



1. Überprüfung des Grenzbereiches nach Tabelle 3.24

$$\frac{b_i}{b_0} = \frac{40}{80} = 0,5 \geq 0,35$$

$$\frac{b_i}{b_0} = 0,5 \geq 0,1 + 0,01 * \frac{b_0}{t_0} = 0,1 + 0,01 * \frac{80}{4} = 0,3$$

Zugstab = Druckstab: $\frac{b_i}{t_i} = \frac{40}{4} = 10 \leq 35 \text{ und } \leq \text{QSKL 2} = 38 * \epsilon = 38$

$$\frac{h_i}{t_i} = \frac{60}{4} = 15 \leq 35 \text{ und } \leq \text{QSKL 2} = 38 * \epsilon = 38$$

$$0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} = \frac{60}{40} = 1,5 \leq 2,0$$

Gurtstab: $0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} = \frac{120}{80} = 1,5 \leq 2,0$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{80}{4} = 20 \leq 35 \text{ und } \leq \text{QSKL 2} = 38 * \epsilon = 38$$

$$\frac{h_0}{t_0} = \frac{120}{4} = 30 \leq 35 \text{ und } \leq \text{QSKL 2} = 38 * \epsilon = 38$$

Spaltweite: $g = 50,2\text{mm} \geq t_1 + t_2 = 4 + 4 = 8\text{mm}$

$$0,5 * (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1,5 * (1 - \beta)$$

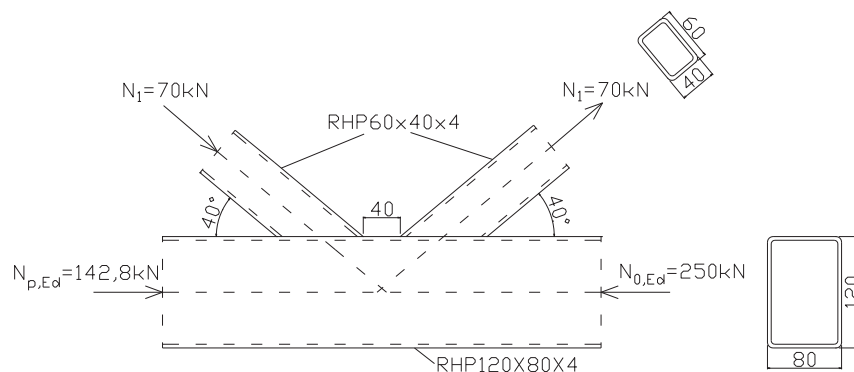
$$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 * b_0} = \frac{2 * 40 + 2 * 60}{4 * 80} = 0,625$$

$$0,5 * (1 - 0,625) = 0,19 \leq \frac{50,2}{80} = 0,63 \not\leq 1,5 * (1 - 0,625) = 0,56$$

Die Spaltweite muss somit verkleinert werden $\Rightarrow g = 40\text{mm}$

$$0,5 * (1 - 0,625) = 0,19 \leq \frac{40}{80} = 0,5 \leq 1,5 * (1 - 0,625) = 0,56$$

Abbildung 4.17 Fachwerkknoten mit Exzentrizität aus RHP (Beispielrechnung)



Da die Spaltweite verkleinert wurde, entstehen Momente aus Knotenexzentrizitäten. Es muss geprüft werden, ob die Momente beachtet werden müssen oder nicht. Dies erfolgt nach Kapitel 3.1.3 Biegemomente.

Berechnung des wirkenden Momentes mit $e = \tan 40^\circ * 5,1\text{mm} = 4,3\text{mm}$:

$$M = N_1 * e = 70 \text{ kN} * \cos 40^\circ * 0,43 \text{ cm} = 23,06 \text{ kNcm}$$

$$-0,55 * h_0 \leq e \leq 0,25 * h_0$$

$$-0,55 * 120 = -66,0 \text{ mm} \leq 4,3 \text{ mm} \leq 0,25 * 120 = 30 \text{ mm}$$

Daraus ist ersichtlich, dass das Moment in der Berechnung des Anschlusses nicht mit betrachtet werden muss.

Da die Grenzwerte aus der Tabelle 3.24 eingehalten werden, muss Flanschversagen und Schubversagen des Gurtstabes, Versagen der Strebe und Durchstanzen untersucht werden.

2. Nachweis des Gurtstabes gegen Flanschversagen nach Tabelle 3.26

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 * k_n * f_{y0} * t_0^2 * \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_1} \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 * b_0} \right) / \gamma_{M5}$$

Dabei ist: $k_n = 1,3 - \frac{0,4 * n}{\beta} \leq 1,0$ (Druck im Gurtstab)

mit: $n = \left(\frac{N_{0,Ed} - N_1 * \cos 40^\circ}{f_{y0} * A_0} \right) / \gamma_{M5}$

$$n = \left(\frac{250 \text{ kN} - 70 \text{ kN} * \cos 40^\circ}{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 15,2 \text{ cm}^2} \right) / 1,0$$

$$n = 0,33$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 * 0,33}{0,625} = 1,1 \not\leq 1,0$$

$$k_n = 1,0$$

Dabei ist: $\gamma = \frac{b_0}{2 * t_0} = \frac{80}{2 * 4} = 10$

Nachweis: $N_{1,Rd} = \frac{8,9 * 1,0 * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * (0,4 \text{ cm})^2 * \sqrt{10}}{\sin 40^\circ} \left(\frac{2 * 4 \text{ cm} + 2 * 6 \text{ cm}}{4 * 8 \text{ cm}} \right) / 1,0$

$$N_{1,Rd} = 102,9 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{70 \text{ kN}}{102,9 \text{ kN}} = 0,68 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

3. Nachweis des Gurtstabes auf Schubversagen nach Tabelle 3.26

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin \theta_1} / \gamma_{M5}$$

Dabei ist: $A_v = (2 * h_0 + \alpha * b_0) * t_0$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 * g^2}{3 * t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 * (40 \text{ mm})^2}{3 * (4 \text{ mm})^2}}} = 0,086$$

$$A_v = (2 * 12 \text{ cm} + 0,086 * 8 \text{ cm}) * 0,4 \text{ cm} = 9,88 \text{ cm}^2$$

Nachweis: $N_{1,Rd} = \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 9,88 \text{ cm}^2}{\sqrt{3} * \sin 40^\circ} / 1,0 = 208,5 \text{ kN}$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{70 \text{ kN}}{208,5 \text{ kN}} = 0,34 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

$$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$$

Dabei ist: $V_{Ed} = N_1 \cdot \sin 40^\circ = 70 \text{ kN} \cdot \sin 40^\circ = 45 \text{ kN}$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A \cdot h_0}{b_0 + h_0} \cdot \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} = \frac{15,2 \text{ cm}^2 \cdot 12 \text{ cm}}{8 \text{ cm} + 12 \text{ cm}} \cdot \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3}} = 123,73 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$N_{0,Rd} = \left[(15,2 \text{ cm}^2 - 9,88 \text{ cm}^2) \cdot 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} + 9,88 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{45 \text{ kN}}{123,73 \text{ kN}} \right)^2} \right] / 1,0$$

$$N_{0,Rd} = 341,3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{0,Ed}}{N_{0,Rd}} = \frac{250 \text{ kN}}{341,3 \text{ kN}} = 0,73 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

4. Nachweis auf Versagen der Strebe nach Tabelle 3.26

$$N_{1,Rd} = f_{y0} \cdot t_i \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_i + b_i + b_{\text{eff}}) / \gamma_{M5}$$

Dabei ist: $b_{\text{eff}} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{yi} \cdot t_i} \cdot b_i = \frac{10}{8 \text{ cm}/0,4 \text{ cm}} \cdot \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 0,4 \text{ cm}}{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 0,4 \text{ cm}} \cdot 4 \text{ cm}$

$$b_{\text{eff}} = 2,0 \text{ cm}$$

Nachweis: $N_{1,Rd} = 23,5 \cdot 0,4 \cdot (2 \cdot 6 - 4 \cdot 0,4 + 4 + 2) / 1,0$

$$N_{1,Rd} = 154,2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{70 \text{ kN}}{154,2 \text{ kN}} = 0,45 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

5. Nachweis auf Durchstanzen der Wandung des Gurtprofils nach Tabelle 3.26

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_1} \left(\left(\frac{2 \cdot h_1}{\sin \theta_1} \right) + b_1 + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$$

Dabei ist: $b_{e,p} = \frac{10}{b_0 \cdot t_0} \cdot b_1 = \frac{10}{8 \text{ cm} \cdot 0,4 \text{ cm}} \cdot 4 \text{ cm}$

$$b_{e,p} = 12,5 \text{ cm}$$

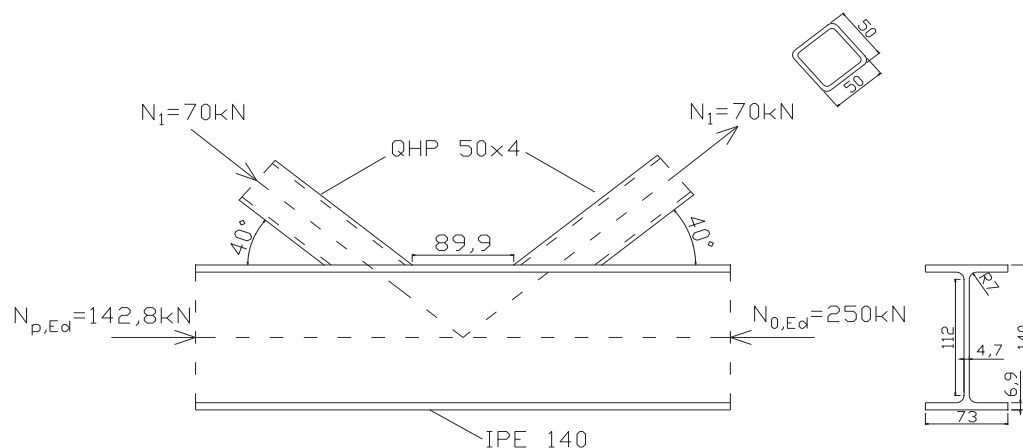
Nachweis:
$$N_{1,Rd} = \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 0,4 \text{ cm}}{\sqrt{3} * \sin 40^\circ} \left(\left(\frac{2 * 6 \text{ cm}}{\sin 40^\circ} \right) + 4 \text{ cm} + 12,5 \text{ cm} \right) / 1,0$$

$$N_{1,Rd} = 296,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{70 \text{ kN}}{296,8 \text{ kN}} = 0,24 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

4.4.3 Beispielrechnung eines Fachwerkknotens aus Quadratrohrhohlprofilen mit I-Profil als Gurtstab

Abbildung 4.18 Fachwerkknoten aus QHP mit I-Profil als Gurtstab (Beispielrechnung)



1. Überprüfung des Grenzbereiches nach Tabelle 3.31

$$\frac{d_w}{t_w} \leq \text{QSKL } 2$$

$$\frac{112 \text{ mm}}{4,7 \text{ mm}} = 23,8 \leq 38 * \epsilon = 38$$

$$d_w = 112 \text{ mm} \leq 400 \text{ mm}$$

Zugstab = Druckstab:
$$\frac{h_i}{t_i} = \frac{b_i}{t_i} = \frac{50 \text{ mm}}{4 \text{ mm}} = 12,5 \leq 35$$

$$\frac{h_i}{b_i} = \frac{50}{50} = 1,0$$

Da die Grenzwerte aus der Tabelle 3.31 eingehalten werden, muss Stabilitätsversagen des Steges, Schubversagen des Gurtstabes und Versagen der Strebe untersucht werden.

2. Nachweis Stabilitätsversagen des Steges vom Gurtstab nach Tabelle 3.32

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin \theta_1} / \gamma_{M5}$$

Dabei ist: $b_w = \frac{h_1}{\sin \theta_1} + 5 * (t_f + r) \leq 2 * t_1 + 10 * (t_f + r)$

$$b_w = \frac{50\text{mm}}{\sin 40^\circ} + 5 * (6,9\text{mm} + 7\text{mm}) \leq 2 * 4\text{mm} + 10 * (6,9\text{mm} + 7\text{mm})$$

$$b_w = 147,3\text{mm} \leq 147\text{mm}$$

$$b_w = 147\text{mm} = 14,7 \text{ cm}$$

Nachweis: $N_{1,Rd} = \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 0,47\text{cm} * 14,7\text{cm}}{\sin 40^\circ} / 1,0$

$$N_{1,Rd} = 252,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{70 \text{ kN}}{252,6 \text{ kN}} = 0,28 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

3. Nachweis auf Versagen der Strebe nach Tabelle 3.32

$$N_{1,Rd} = 2 * f_{y1} * t_1 * p_{\text{eff}} / \gamma_{M5}$$

Dabei ist: $p_{\text{eff}} = t_w + 2 * r + 7 * t_f * \frac{f_{y0}}{f_{y1}} \leq b_1 + h_1 + 2 * t_1$

$$p_{\text{eff}} = 4,7\text{mm} + 2 * 7\text{mm} + 7 * 6,9\text{mm} * \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \leq 50\text{mm} + 50\text{mm} + 2 * 7\text{mm}$$

$$p_{\text{eff}} = 67\text{mm} \leq 108\text{mm}$$

$$p_{\text{eff}} = 6,7\text{cm}$$

Nachweis: $N_{1,Rd} = 2 * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 0,4\text{cm} * 6,7\text{cm} / 1,0$

$$N_{1,Rd} = 126,0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{70 \text{ kN}}{126,0 \text{ kN}} = 0,56 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

4. Nachweis des Gurtstabes auf Schubversagen nach Tabelle 3.32

Da die Ermittlung der Tragfähigkeit $N_{0,Rd}$ auf Schubversagen mit der von RHP aus Kap. 4.6 übereinstimmt, wird hier darauf verzichtet und nur die Ergebnisse angegeben. Die Bestimmung von $N_{1,Rd}$ ist jedoch teilweise anders und wird daher durchgeführt.

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_1} / \gamma_{M5}$$

Dabei ist: $A_v = A_0 - (2 - \alpha) \cdot b_0 \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot (89,9 \text{ mm})^2}{3 \cdot (6,9 \text{ mm})^2}}} = 0,066$$

$$A_v = 16,4 \text{ cm}^2 - (2 - 0,066) \cdot 7,3 \text{ cm} \cdot 0,69 \text{ cm} + (0,47 \text{ cm} + 2 \cdot 0,7 \text{ cm}) \cdot 0,69 \text{ cm}$$

$$A_v = 7,95 \text{ cm}^2$$

Nachweis: $N_{1,Rd} = \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 7,95 \text{ cm}^2}{\sqrt{3} \cdot \sin 40^\circ} / 1,0 = 167,8 \text{ kN}$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{70 \text{ kN}}{167,8 \text{ kN}} = 0,42 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

$$N_{0,Rd} = \left[(16,4 \text{ cm}^2 - 7,95 \text{ cm}^2) \cdot 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} + 7,95 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{45 \text{ kN}}{146,2 \text{ kN}} \right)^2} \right] / 1,0$$

$$N_{0,Rd} = 376,1 \text{ kN}$$

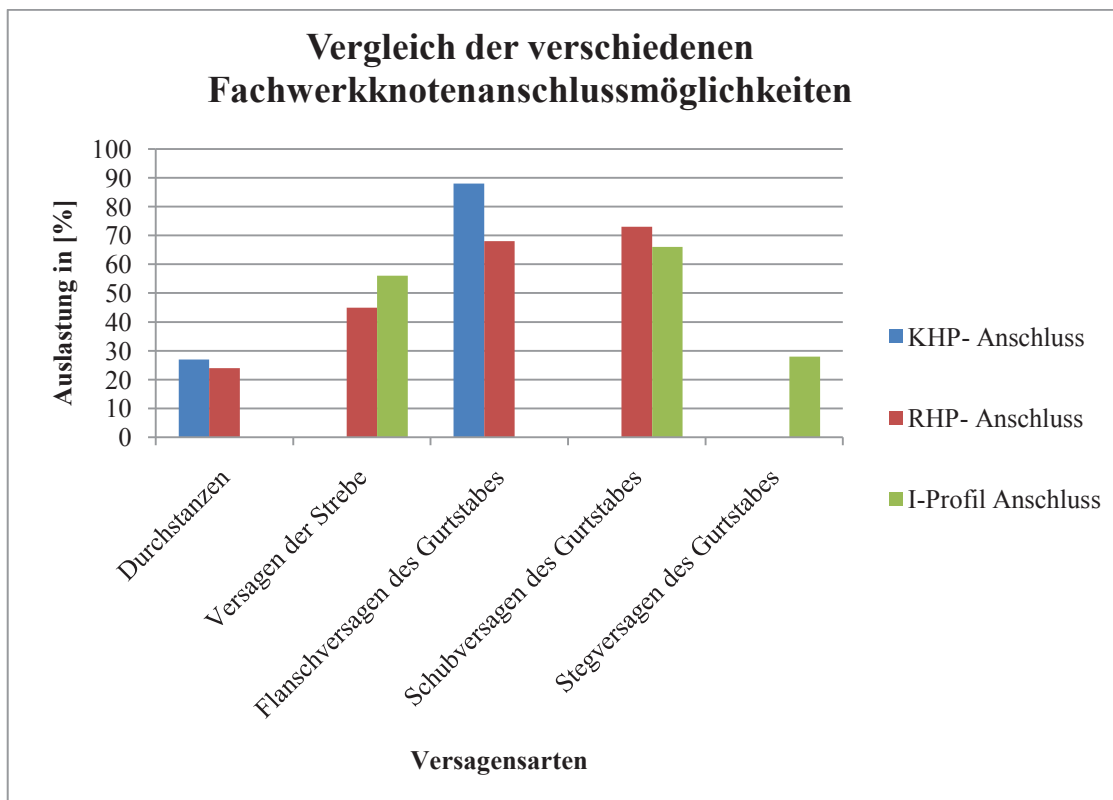
$$\frac{N_{0,Ed}}{N_{0,Rd}} = \frac{250 \text{ kN}}{376,1 \text{ kN}} = 0,66 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

4.4.4 Auswertung und Vergleich der Beispielrechnungen aus den Kapiteln 4.4.1 bis 4.4.3

Die Anschlüsse aus den Beispielen können miteinander verglichen werden, da sie mit den gleichen Kräften bemessen wurden, nahezu die gleichen Querschnittsflächen besitzen und die Streben mit den gleichen Winkeln angeschlossen wurden.

Die unterschiedliche Auslastung der Anschlüsse wird über ein Säulendiagramm veranschaulicht.

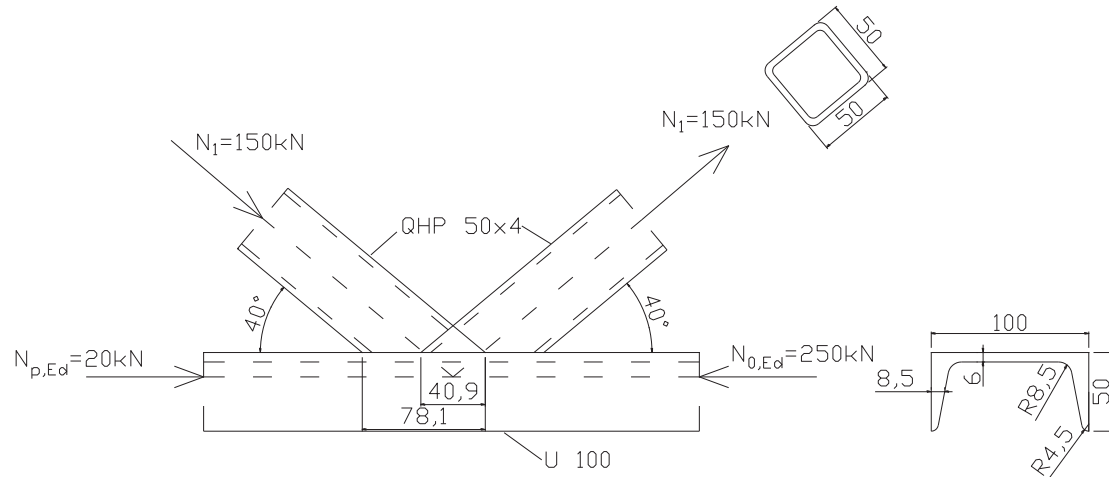
Diagramm 4.2 Vergleich der verschiedenen Fachwerkknotenanschlussmöglichkeiten



Aus diesem Diagramm wird deutlich, dass der Kreisrohrhohlprofil (KHP)- Anschluss mit 88% am stärksten ausgelastet ist. Der Rechteckrohrhohlprofil (RHP)- Anschluss ist hingegen des KHP- Anschlusses 15% weniger stark ausgelastet. Lediglich mit 66% Auslastung ist der Anschluss mit dem I-Profil im Gurtstab am wenigsten beansprucht. Außerdem zeigt das Diagramm, dass das Versagenskriterium Tragfähigkeiten des Gurtstabes auf Schub- und Flanschversagen maßgebend ist. Aus diesen Erkenntnissen lässt sich ableiten, dass der Anschlusstyp mit KHP eher weniger ausgeführt wird. Desweiteren sprechen für diese Aussage die komplizierte und zeitaufwendige Fertigung von KHP- Anschlüssen.

4.5 Beispielrechnung eines Fachwerkknotens aus Quadratrohrprofilen mit U-Profil als Gurtstab

Abbildung 4.19 Fachwerkknoten aus QHP mit U-Profil als Gurtstab (Beispielrechnung)



1. Überprüfung des Grenzbereiches nach Tabelle 3.34

$$\frac{b_i}{b_0} = \frac{50}{100} = 0,5 \geq 0,25$$

$$b_0 = 100 \text{ mm} < 400 \text{ mm}$$

Zugstab = Druckstab: $\frac{h_{i,j}}{t_{i,j}} = \frac{b_{j,i}}{t_{i,j}} = \frac{50 \text{ mm}}{4 \text{ mm}} = 12,5 \leq 35$

$$0,5 \leq \frac{h_{i,j}}{b_{i,j}} = \frac{50}{50} = 1,0 \leq 2,0$$

Gurtstab: $\frac{b_0}{t_0} = \frac{100}{6} = 16,7 \leq \text{QSKL } 2 = 38 * \epsilon = 38$

Überlappung: $25\% \leq \lambda_{0v} < 100\%$

$$\lambda_{0v} = \left(\frac{q}{p} \right) * 100 \% = \left(\frac{40,9 \text{ mm}}{78,1 \text{ mm}} \right) * 100\%$$

$$\lambda_{0v} = 52\%$$

$$25\% \leq \lambda_{0v} = 52\% < 100\%$$

$$\frac{b_i}{b_j} = \frac{50 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 1 \geq 0,75$$

Da die Grenzwerte aus der Tabelle 3.34 eingehalten werden, muss nur das Versagen der Strebe untersucht werden.

2. Nachweis auf Versagen der Strebe nach Tabelle 3.35

$$N_{1,Rd} = f_{yi} * t_i * (b_{eff} + b_{e,0v} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$$

Dabei ist: $b_{eff} = \frac{10}{b_0^*/t_0} * \frac{f_{y0} * t_0}{f_{yi} * t_i} * b_i \leq b_i$

$$b_0^* = b_0 - 2 * (t_w + r_0) = 100 \text{ mm} - 2 * (8,5 \text{ mm} + 8,5 \text{ mm})$$

$$b_0^* = 66,0 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = \frac{10}{66,0 \text{ mm} / 6,0 \text{ mm}} * \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 0,6 \text{ cm}}{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 0,4 \text{ cm}} * 5,0 \text{ cm} \leq b_i = 5,0 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = 6,82 \text{ cm} \not\leq 5,0 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = 5,0 \text{ cm}$$

$$b_{e,0v} = \frac{10}{b_j/t_j} * \frac{f_{yj} * t_j}{f_{yi} * t_i} * b_i \leq b_i$$

$$b_{e,0v} = \frac{10}{50,0 \text{ mm} / 4,0 \text{ mm}} * \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 0,4 \text{ cm}}{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 0,4 \text{ cm}} * 5,0 \text{ cm} \leq b_i = 5,0 \text{ cm}$$

$$b_{e,0v} = 4,0 \text{ cm} \leq b_i = 5,0 \text{ cm}$$

$$b_{e,0v} = 4,0 \text{ cm}$$

Nachweis: $N_{1,Rd} = 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 0,4 \text{ cm} * (5,0 \text{ cm} + 4,0 \text{ cm} + 2 * 5,0 \text{ cm} - 4 * 0,4 \text{ cm}) / 1,0$

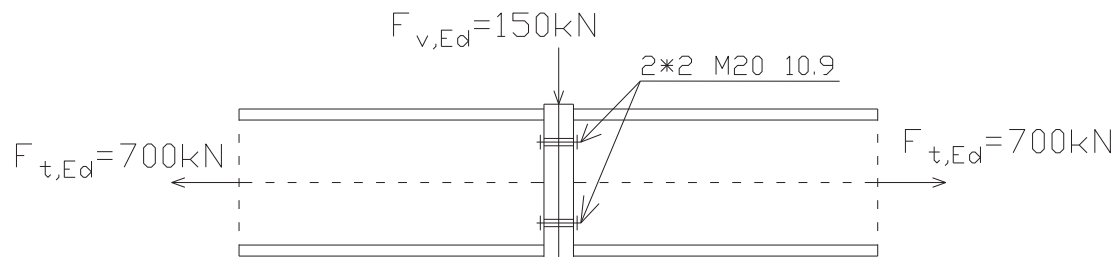
$$N_{1,Rd} = 163,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{150 \text{ kN}}{163,6 \text{ kN}} = 0,92 \leq 1,0$$

=> Nachweis erfüllt.

4.6 Beispielrechnung eines Stirnplattenstoßes unter Zug- und Querkraftbelastung

Abbildung 4.20 Stirnplattenstoß (Beispielrechnung)



Nachweis des Anschlusses

$$\frac{F_{v,Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{n \cdot 1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Dabei ist: $F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \Rightarrow$ Schaft in Scherfuge

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 314 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 314 \text{ mm}^2}{1,25} = 150720 \text{ N} = 150,7 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 245 \text{ mm}^2}{1,25} = 176400 \text{ N} = 176,4 \text{ kN}$$

$$n = 2$$

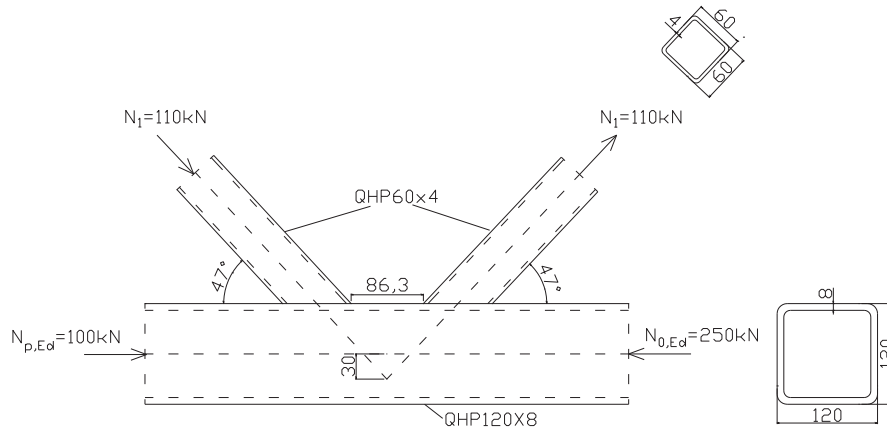
Nachweis: $\frac{150 \text{ kN}}{4 \cdot 150,7 \text{ kN}} + \frac{700 \text{ kN}}{4 \cdot 1,4 \cdot 176,4 \text{ kN}} \leq 1,0$

$$0,25 + 0,71 = 0,96 \leq 1,0$$

\Rightarrow Nachweis erfüllt.

4.7 Beispielrechnung eines Fachwerkknotens aus Quadratrohrprofilen mit Knotenexzentrizität

Abbildung 4.21 Fachwerkknoten mit Knotenexzentrizität (Beispielrechnung)



In diesem Beispiel wird die Auswirkung des Momentes infolge der Knotenexzentrizität untersucht. Dazu wird die Exzentrizität so gewählt, dass das daraus entstehende Moment für die Anschlussbemessung entfallen könnte. Die Berechnung wird allerdings mit dem Moment geführt, um den Einfluss des Momentes darzustellen.

Auf die Bemessung der Querschnitte wird hierbei verzichtet, da die Nachweisführung schon im Vorfeld gezeigt wurde. Desweiteren wird die Bestimmung der Grenzbereiche hier nicht nochmals aufgelistet, da die Abhandlung identisch zu der aus Kapitel 4.1.7.1 ist. Die Grenzbereiche werden allerdings eingehalten und es muss somit nur Flanschversagen des Gurtstabes untersucht werden.

1. Überprüfung der Knotenexzentrizitäten und Ermittlung des Momentes

$$-0,55 * 120 = -66,0 \text{ mm} \leq 30,0 \text{ mm} \leq 0,25 * 120 = 30 \text{ mm}$$

$$M_{1,Ed} = e * N_1 * \cos 47^\circ = 3,0 \text{ cm} * 110 \text{ kN} * \cos 47^\circ = 225,1 \text{ kNcm}$$

2. Nachweis des Gurtstabes gegen Flanschversagen nach Tabelle 3.30 und Tabelle 3.27

Da die Bestimmung von $N_{1,Rd}$ schon beschrieben wurden ist, wird jetzt nur die Gleichung mit Ergebnis gezeigt.

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 * \gamma^{0,5} * k_n * f_{y0} * t_0^2}{\sin \theta_1} * \left(\frac{b_1 + b_2}{2 * b_0} \right) / \gamma_{M5} = 250,6 \text{ kN}$$

Bestimmung von $M_{1,Rd}$ nach Tabelle 3.27

Es muss hierbei nur die Biegetragfähigkeit vom Flanschversagen des Gurtstabes bestimmt werden, da $\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0} = 0,5 \leq 0,85$.

$$M_{ip,1,Rd} = k_n * f_{y0} * t_0^2 * h_1 * \left(\frac{1}{2*\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$$

Dabei ist: $\eta = \frac{h_1}{b_0} = \frac{60}{120} = 0,5$

$h_1 = 12,0 \text{ cm}$ (Höhe des Gurtstabes)

$$M_{ip,1,Rd} = 1,0 * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * (0,8\text{cm})^2 * 12,0\text{cm} * \left(\frac{1}{2*0,5} + \frac{2}{\sqrt{1-0,5}} + \frac{\eta}{1-0,5} \right) / 1,0$$

$$M_{ip,1,Rd} = 871,7 \text{ kNcm}$$

Nachweis: $\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} + \frac{M_{ip,1,Ed}}{M_{ip,1,Rd}} \leq 1,0$

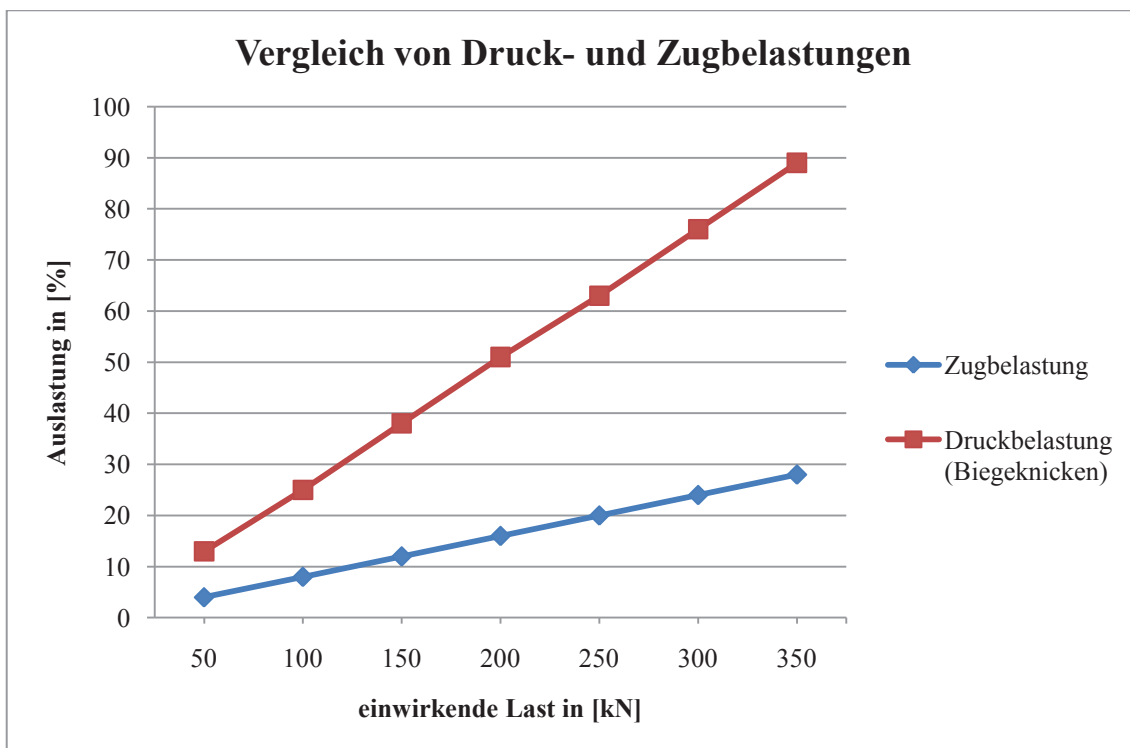
$$\frac{110,0 \text{ kN}}{250,6 \text{ kN}} + \frac{225,1 \text{ kNcm}}{871,7 \text{ kNcm}} = 0,44 + 0,26 = 0,70 \leq 1,0$$

Bei der Auswertung des Nachweises wird deutlich, dass das Moment aus der Knotenexzentrizität eine Mehrbelastung von 26 % bewirkt und somit die Tragfähigkeit des Knotens um ca. 1/4 vermindert. Nur durch die Einwirkung der Normalkraft wäre die Auslastung der Tragfähigkeit bei lediglich 44%. Die Einwirkung des Momentes ist unabsehbar hoch, da es eigentlich nicht beachtet werden musste.

4.8 Vergleich der Beanspruchbarkeit eines Profils bei Druck- und Zugbelastung

In diesem Diagramm wird die Auslastung eines IPE 300, S235J0 bei Druck- und Zugbelastung verglichen. Dafür wurde die einwirkende Normalkraft schrittweise um 50kN erhöht. Die Bemessung des Profils wurde bei Zugbelastung mit einem Querschnittsnachweis und bei Druck mit dem Stabilitätsnachweis Biegeknicken geführt.

Diagramm 4.3 Vergleich von Druck- und Zugbelastungen

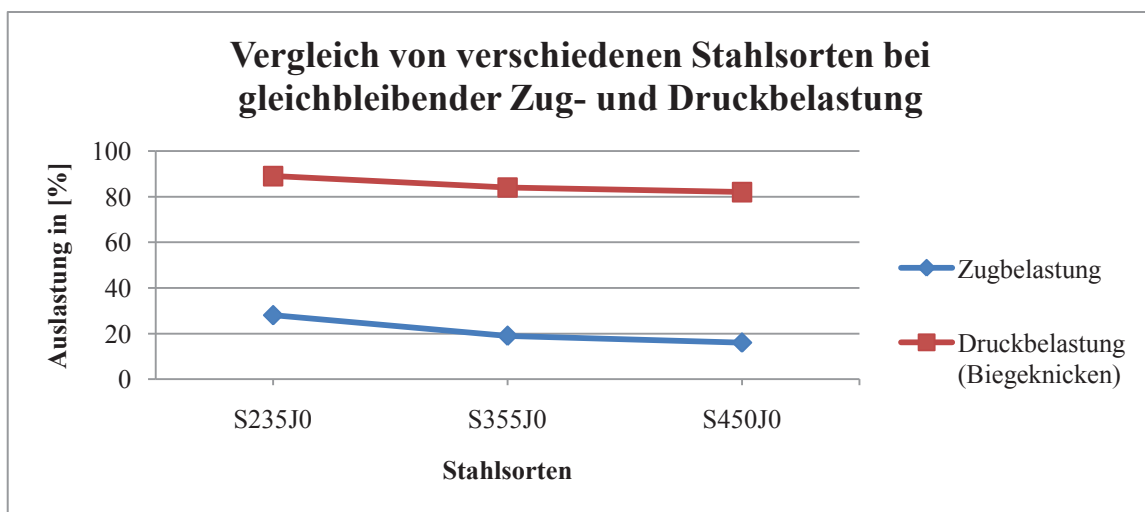


Aus diesem Diagramm wird zum einen ersichtlich, dass die Auslastung bei Zug- und Druckbelastung gleichmäßig ohne Sprünge steigt. Zum anderen erkennt man, dass das gewählte Profil wesentlich mehr Zug- als Druckkräfte aufnehmen kann. Am deutlichsten wird das bei der Belastung von 350 kN. Dabei weist der Querschnitt bei Zugbelastung lediglich 28% Auslastung und bei Druckbelastung 89% Auslastung auf. Somit ist er bei gleicher Kraft 61% höher ausgelastet. Bei 50 kN beträgt die Differenz der Auslastung nur 9%. Dadurch erkennt man, dass die Auslastung unterschiedlich stark ansteigt. Bei der Zugbelastung steigt diese jeweils nur 4% und bei der Druckbelastung 13% je 50kN erhöhter Last. Daraus lässt sich schließen, dass dieses Profil mehr als das 3- fache an Zugkraft aufnehmen kann als an Druckkraft.

4.9 Vergleich der Beanspruchbarkeit von verschiedenen Stahlsorten bei gleicher Druck- und Zugebelastung

In diesem Diagramm soll die Beanspruchbarkeit der Stahlsorten S235J0, S355J0 und S450J0 veranschaulicht werden. Dafür wurde ein IPE 300 mit einer Normalkraft von 350kN auf Druck und Zug belastet. Die Bemessung des Profils erfolgt wie bei Kapitel 4.8 mit einem Querschnittsnachweis bzw. mit dem Stabilitätsnachweis Biegeknicken.

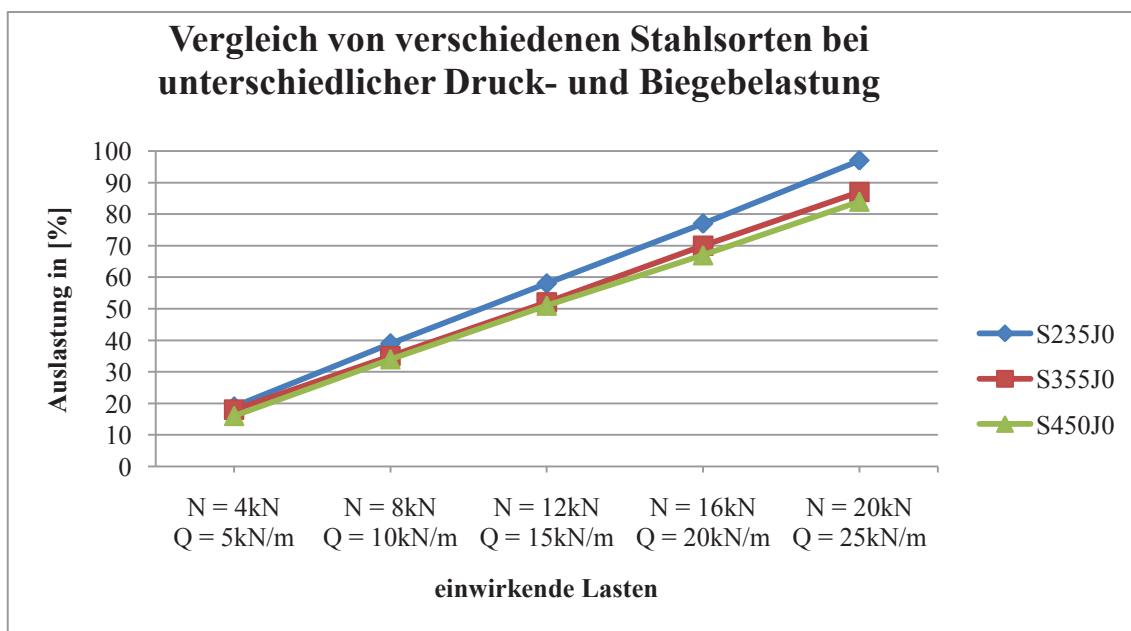
Diagramm 4.4 Vergleich verschiedener Stahlsorten bei gleichbleibender Zug- und Druckbelastung



Bei der Auswertung des Diagrammes erkennt man, dass der Baustahl S235J0 weniger belastbar ist als der Stahl S355J0 und S450J0. Dies ist davon unabhängig ob eine Zug- oder Druckspannung wirkt. Es wird außerdem deutlich, dass bei einer Zugbelastung die Stahlsorte mehr Einfluss hat, als bei einer Druckbelastung. Beim Vergleich der Beanspruchbarkeit unter Zugbelastung ergibt sich ein Unterschied zwischen dem S235J0 und dem S355J0 von 50%. Demnach ist der Stahl S235J0 bei gleicher Belastung mit 28% ca. 1,5 -fach so stark belastet wie der S355J0 mit 19%. Bei einer Druckbelastung ist der Unterschied zwischen dem Stahl S235J0 und dem S355J0 mit lediglich 6% wesentlich geringer als bei einer Zugbelastung. Daraus lässt sich schließen, dass es bei wirkender Zugbelastung sinnvoller ist die Stahlgüte zu erhöhen, als bei Druckbelastung. Desweiteren wird aus dem Diagramm ersichtlich, dass der Unterschied der Auslastung zwischen einem S355J0 und einem S450J0 eher gering ist und der S450J0 somit kaum Einsatz findet.

4.10 Vergleich der Beanspruchbarkeit von verschiedenen Stahlsorten bei unterschiedlicher Druck- und Biegebelastungen

In diesem Diagramm soll wiederum die Beanspruchbarkeit der Stahlsorten S235J0, S355J0 und S450J0 veranschaulicht werden. Dafür wurde ein IPE 300 mit unterschiedlichen Druck- und Querkraften belastet. Die Kräfte wurden dabei schrittweise um 4kN bei der Normalkraft bzw. um 5kN/m bei der Querkraft erhöht. Die Bemessung des Profils wurde mit dem Nachweis Biegedrillknicken geführt. *Diagramm 4.5 Vergleich verschiedener Stahlsorten bei unterschiedlicher Druck- und Biegebelastung*



Aus diesem Diagramm wird ersichtlich, dass bei geringer Belastung der Querschnitte die untersuchten Stahlsorten fast die gleiche Auslastung aufweisen. Der Unterschied beträgt dabei lediglich 3%. Bei einer großen Belastung mit einer Normalkraft $N = 20\text{kN}$ und einer Querkraft $Q = 25\text{kN/m}$ erreicht man bei einem S235J0 die Grenze der Tragfähigkeit mit 97%. Der Stahl S355J0 hat dagegen bei dieser Belastung noch Reserven und ist mit 87% Auslastung, 10% weniger beansprucht als der S235J0. Der Unterschied in der Auslastung zwischen dem S355J0 und dem S450J0 ist unabhängig von der Einwirkung, mit ca. 3% Differenz sehr gering und die Anwendung des S450J0 ist aus diesem Grund nicht gegeben. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass in diesem Fall die Anwendung eines S355J0 nur bei einer hohen Belastung von Bedeutung sein könnte.

5. Ausführungen

5.1 Fertigungsorganisation und Planung

In diesem Abschnitt wird beschrieben, welche Angaben die Statik- und Konstruktionsabteilung vorgeben um eine genaue Fertigung zu ermöglichen. Dabei werden von den Statikern zur Z-Güte und zu verschiedenen Fertigungs- bzw. Montagedetails Vorgaben gemacht. Bei den Z- Güten ist darauf zu achten, dass diese eingehalten werden. Die auf Zug beanspruchten Platten, wie beispielsweise Stirnplatten, können eventuell vorgewärmt werden, um die notwendige Z- Güte zu verringern. Es können auch verschiedene Details angegeben werden. Das kann bei der Fertigung zum Beispiel die Vorgabe von Langlöchern in den Obergurten sein. Dies ist teilweise notwendig, wenn die Windlast auf den Giebel trifft und sie dadurch zu Schiefstellungen führt. Um dabei die Montage der Pfetten zu ermöglichen, müssen Toleranzen, wie Langlöcher, vorhanden sein. Außerdem legt der Statiker, in Absprache mit den Konstrukteuren die Verteilung und Anzahl der Montagestöße fest. Montagestöße sind notwendig, um die Fachwerkträger in transportablen Größen in der Werkstatt herzustellen. Um den Transport von Fachwerkträgern zu ermöglichen, darf eine Länge von 15 m, eine Breite von 3 m und eine Höhe von 2,5 m nicht überschritten werden. Die Konstruktionsabteilung gewährleistet eine korrekte Fertigung, in dem sie Fertigungszeichnungen erstellt, an denen Kontroll- und Spaltmaße angebracht sind. Zu den Kontrollmaßen gehören die Maße über die Diagonale eines Fachwerkbinders von äußerer Ecke Obergurt zu äußerer Ecke Untergurt. Es werden weiterhin Vertikalmaße von Ober- zu Untergurt angegeben und der Horizontalversatz zwischen den Gurten vermaßt. Desweiteren werden Körnermaße angegeben an denen die Füllstäbe angeschlossen werden. Die Spaltweiten zwischen den Füllstabanschlüssen, werden so gewählt, dass sie ausreichend groß sind um die Schweißnähte auszuführen. Dazu dient die Gleichung: $\text{Einflussbreite} = \sqrt{2} * a$. Es muss allerdings beachtet werden, dass die Spaltweiten nicht zu groß sind, da sonst Knotenexzetrizitäten entstehen, deren Momente beachtet werden müssen, siehe Kapitel 3.1.3. Um eine minimale Außermittigkeit zu erhalten, sind in der Regel Spaltweiten von 15 bis 20 mm üblich.

Die verschiedenen Fertigungstoleranzen können der DIN EN ISO 19320: 1996, Allgemein Toleranzen für Schweißkonstruktionen, entnommen werden [10]. In dieser DIN sind Angaben zu Maß- und Winkeltoleranzen, in den Tabellen 5.1 und 5.2, und zu Ebenheits-, Geradheits- und Parallelitätstoleranzen in Tabelle 5.3, enthalten. Die zulässigen Abweichungen werden dabei in verschiedene Toleranzklassen eingeteilt, welche eingehalten werden müssen. Die notwendigen Toleranzklassen werden in den jeweiligen Zeichnungen angegeben. Fachwerkträger erhalten die Klasse C.

Tabelle 5.1 Grenzabmaß für Längenmaße

Toleranz- klasse	Nennmaßbereich l (in mm)										
	2 bis 30	über 30 bis 120	über 120 bis 400	über 400 bis 1 000	über 1 000 bis 2 000	über 2 000 bis 4 000	über 4 000 bis 8 000	über 8 000 bis 12 000	über 12 000 bis 16 000	über 16 000 bis 20 000	über 20 000
	Grenzabmaße t (in mm)										
A	± 1	± 1	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8	± 9
B		± 2	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8	± 10	± 12	± 14	± 16
C		± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18	± 21	± 24	± 27
D		± 4	± 7	± 9	± 12	± 16	± 21	± 27	± 32	± 36	± 40

Tabelle 5.2 Grenzabmaß für Winkelmaße

Toleranz- klasse	Nennmaßbereich l (in mm) (Länge oder kürzerer Schenkel)					
	bis 400	über 400 bis 1000	über 1000	bis 400	über 400 bis 1000	über 1000
	Grenzabmaße $\Delta\alpha$ (in Grad und Minuten)			Gerechnete und grundete Grenzabmaße t (in mm/m)		
A	$\pm 20'$	$\pm 15'$	$\pm 10'$	± 6	$\pm 4,5$	± 3
B	$\pm 45'$	$\pm 30'$	$\pm 20'$	± 13	± 9	± 6
C	$\pm 1^\circ$	$\pm 45'$	$\pm 30'$	± 18	± 13	± 9
D	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ 15'$	$\pm 1^\circ$	± 26	± 22	± 18

Tabelle 5.3 Geradheits-, Ebenheits- und Parallelitätstoleranzen

Toleranz- klasse	Nennmaßbereich l (in mm) (bezieht sich auf die längere Seite der Oberfläche)									
	über 30 bis 120	über 120 bis 400	über 400 bis 1 000	über 1 000 bis 2 000	über 2 000 bis 4 000	über 4 000 bis 8 000	über 8 000 bis 12 000	über 12 000 bis 16 000	über 16 000 bis 20 000	über 20 000
	Toleranzen t (in mm)									
E	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8
F	1	1,5	3	4,5	6	8	10	12	14	16
G	1,5	3	5,5	9	11	16	20	22	25	25
H	2,5	5	9	14	18	26	32	36	40	40

Um die vorgegebenen Toleranzklassen einzuhalten, sind wie oben im Kapitel erläutert, die Vorgaben der Statik und der Konstruktion zu beachten. Es ist allerdings schon vor der Fertigung zu gewährleisten, dass eine gewisse Maßgenauigkeit der Profile vorhanden ist. Dies erfolgt einerseits, indem die bestellten Profile schon bei der Lieferung auf Ebenheitstoleranzen geprüft werden. Andererseits werden die Querschnitte im Betrieb auf Maß gesägt.

Dennoch ist es möglich, dass die Fertigungstoleranzen nicht eingehalten werden und die Passgenauigkeit der Füllstäbe und Gurte nicht gegeben ist. Dies kann der Fall sein, wenn zum Beispiel die Füllstäbe an die Knotenbleche geschraubt werden oder die Gurtstäbe aus HEA- Profilen bestehen. Das Problem bei HEA- Profilen ist, dass sie recht große Herstellertolleranzen besitzen und daher oftmals kleinere Abmessungen haben als angegeben. Es gibt jedoch Möglichkeiten diese Ungenauigkeiten zu beheben, um eine passgenaue Fertigung zu ermöglichen. Falls die Gurtstäbe zu schmal sind und sich daher das lichte Maß vergrößert, können Futterbelche in den Knotenpunkten, an die Gurte geschweißt werden, um das Fehlmaß zu korrigieren. Bei geschraubten Diagonalstößen kann es vorkommen, dass die Bohrungen der Knotenbleche und der Diagonalen nicht übereinstimmen. Wenn dies der Fall ist, gibt es zwei Möglichkeiten den Fehler zu beheben. Man kann entweder die Diagonalen ohne Bohrungen neu fertigen, oder man verschweißt die Löcher. Im Anschluss wird dann die Diagonale vor Ort auf das Knotenblech aufgelegt und die Füllstablöcher neu gebohrt und mit dem Knotenblech verschraubt.

Die Angaben zur Schweißnahtausführung werden vom firmeninternen Schweißfachingenieur vorgegeben. Diese Angaben beinhalten die notwendige Bewertungsgruppe der jeweiligen Schweißnaht, das zu verwendende Schweißverfahren mit dem dazugehörigen Zusatzwerkstoff, die auszubildende Nahtart, die notwendige Vorwärmtemperatur, die Schweißreihenfolge und die Schweißnahtvorbereitung. Die Schweißreihenfolge wird vorgegeben um die Wärmeeinbringung in das Material zu kontrollieren und um eine korrekte Fertigung zu gewährleisten. Desweiteren muss sichergestellt sein, dass die Schweißnähte nicht unterschritten werden.

5.2 Montageorganisation und Planung

Die Vorbereitung der Montage beginnt schon vor der Lieferung der Fachwerkträger auf die Baustelle. Dabei gilt es zu beachten, dass die Fachwerke in Montagereihenfolge verladen werden. Dies ist sinnvoll, da die Fachwerke sonst auf der Baustelle für die Montage sortiert werden müssten. Da dies recht zeitaufwendig und somit unwirtschaftlich ist, sollte es vermieden werden. Desweiteren ist bei der Verladung darauf zu achten, dass die zulässige Transportlast von 20 t ausgenutzt wird. Außerdem sind die Fachwerkträger so zu verladen, dass sie in möglichst wenigen bzw. nur einem Hub abzuladen sind. Die Baustelle sollte vor Beginn der Montage soweit vorbereitet sein, dass der Tiefbau abgeschlossen ist. Das bedeutet, dass der Untergrund der Halle aufgeschottert und eben ist. Bei einer frei stehenden Halle sollte eine Umfahrung von 3m vorhanden sein. Dies ist wichtig, damit die Hebebühnen ungehindert fahren können. Bei der Wahl des Kranes ist darauf zu achten, dass ein effektives Arbeiten möglich ist. Der Kran sollte groß genug sein, um von einem Standpunkt aus mehrere Achsen zu stellen. Er darf aber auch nicht zu groß sein, da sonst das Umstellen des Kranes sehr aufwendig ist.

Nachdem die Vorbereitungen abgeschlossen wurden, kann mit der Vormontage begonnen werden. Dazu wird so vorgegangen, dass die einzelnen Fachwerkträgerabschnitte in Montagehilfen gestellt und am Obergurt mit dem Steg der Montagehilfe verbunden werden. Dadurch ist der Fachwerkbinder gegen wegrutschen gesichert. Diese Montagehilfen sind in Abbildung 5.1 dargestellt. Die einzelnen Fachwerkbinder werden an den Montagestößen miteinander verschraubt. Der komplette Fachwerkbinder wird dann so an den Kran gehangen, dass im Untergurt nur Zugkräfte wirken. Dafür müssen die Aufhängungen relativ weit außen angebracht werden. Bei der Montage werden zuerst die zwei Binder gestellt, die das Verbandsfeld bilden. Damit sind die Fachwerkbinder gegen Kippen gesichert. Die weiteren Binder werden durch Koppelstangen mit dem Verbandsfeld verbunden und sind dadurch gehalten. Um eventuell vorhandene Ungenauigkeiten bei der Montage ausgleichen zu können, werden Futterbleche angewendet. Diese werden in den notwendigen Bereichen mit dem Tragwerke verschweißt, um die Fehlmaße zu korrigieren. Für die Montage gibt es Zeichnungen an denen die vorgeschriebenen Achsmaße und Höhenkoten angegeben sind. Mit diesen Maßen ist es möglich die komplette Montage auszuführen und zu kontrollieren.

Abbildung 5.1 Montagehilfe



In dieser Abbildung erkennt man die Montagehilfen auf denen die Fachwerkträger stehen. Diese Hilfen bestehen aus zusammengeschweißten Stahlprofilen die eine Art T bilden. Die Untergurte der Binder stehen dabei auf den Schenkeln der Montagehilfen und die Obergurte sind mit dem Steg der Hilfen verbunden.

6. Schlussbemerkung

Die Berechnungen für Fachwerkträger wurden bisher nach DIN 18800 durchgeführt. Diese Arbeit bildet eine Grundlage zur Bemessung eines solchen Trägers nach dem neuen Berechnungskonzept des Eurocode 3.

Prinzipiell unterscheidet sich der Berechnungsablauf wenig von dem nach DIN 18800. Ein wesentlicher Unterschied zur alten Berechnungsmethode bildet die Einteilung der Profile in 4 Querschnittsklassen, anhand deren die Nachweise geführt werden. Die Nachweisführung hat sich allerdings durch die Verwendung der neuen Norm wesentlich verändert. Dies wird durch den Gebrauch neuer Formeln deutlich.

Ein weiterer Unterschied besteht in der Bemessung der Anschlüsse. Die Schweißnahtberechnung kann laut Eurocode 3 nach zwei Verfahren, dem Richtungsbezogenem und dem Vereinfachten, erfolgen. Bei den Berechnungen der geschraubten Anschlüsse ist zu beachten, dass bei Einhaltung der Regelabstände der Schrauben eine höhere Auslastung möglich ist. Die Schraubennachweise erfolgen anhand der verschiedenen Schraubenkategorien A bis E und den damit verbundenen Nachweiskriterien. Bei der Anschlussbemessung mit Hohlprofilen ist so vorzugehen, dass als erstes der Gültigkeitsbereich untersucht und anschließend die Tragfähigkeit der Verbindung ermittelt wird.

In den Ausführungen wurde erläutert, wie die Herstellung eines Fachwerkträgers von der Fertigung bis hin zur Montage abläuft. Dabei wurde beschrieben, auf was bei der Verladung, der Vormontage und der Montage zu achten ist.

Mit den Ausführungen dieser Arbeit wurde die zu Beginn gestellte Zielstellung erfüllt und eine Vorlage zur Bemessung eines Fachwerkträgers nach Eurocode 3 gegeben.

Literaturverzeichnis

- Kindmann, Rolf; Stracke Michael: Verbindungen im Stahl- und Verbundbau. – 2 Aufl. Bochum : Ernst & Sohn, 2009 [1]
- Thiele, Lohse: Stahlbau Teil 2. – 19. Aufl. Leipzig : B.G. Teubner Stuttgart, 2000 [2]
- Schneider, Klaus – Jürgen: Bautafeln für Ingenieure. – 17. Aufl. Minden : Werner Verlag, 2006 [3]
- Piechatzek, Erwin: Einführung in den Eurocode 3. Köln: Vieweg Verlag 2002 [4]
- DAST: Eurocode 3 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Köln: Bauverlag Beuth, 1999 [5]
- DIN EN 1993-1-1: 2005: Teil 1- 1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau [6]
- DIN EN 1993-1-8: 2005: Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen [7]
- DIN EN 1993-1-10: 2005: Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung [8]
- DIN 18800 (11.90). Stahlbauten [9]
- DIN EN ISO 13920: 1996: Allgemeintoleranzen für Schweißkonstruktionen [10]
- Vorlesungsunterlagen und Skripte [11]
- Ordner zu Workshop EC 3 – Rossweiner Stahl- und Metallbautagung [12]
- Vallourec & Mannesmann Tubes: Bemessung vorwiegend ruhend beanspruchter MSH-Konstruktionen [13]
www.vmtubes.de/content/vmtubes/vmtubes000522/S_VM3B0002B-8D.pdf
- Vallourec & Mannesmann Tubes: Bemessungshilfen für MSH- Profile [14]
www.vmtubes.de/content/vmtubes/vmtubes000522/S_VM3B00011B-10D.pdf

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Lunzenau, den 15.06.2011

Naumann, Thomas